

50212-557
December 10, 2003
KOSHIBA et al.

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE *McDermott, Will & Emery*

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日 2003年 5月15日
Date of Application:

出願番号 特願2003-137628
Application Number:

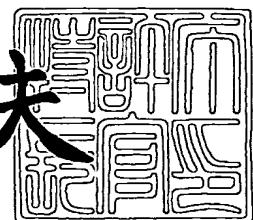
[ST. 10/C] : [JP2003-137628]

出願人 住友電気工業株式会社
Applicant(s):

2003年 9月11日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今井康夫



【書類名】 特許願

【整理番号】 103Y0143

【提出日】 平成15年 5月15日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G02B 6/00

【発明者】

【住所又は居所】 北海道札幌市中央区南8条西23丁目南8条住宅401
棟42号

【氏名】 小柴 正則

【発明者】

【住所又は居所】 北海道札幌市東区北19条東5丁目365-729 リ
レント美香保マンション505

【氏名】 齊藤 晋聖

【特許出願人】

【識別番号】 000002130

【氏名又は名称】 住友電気工業株式会社

【代理人】

【識別番号】 100088155

【弁理士】

【氏名又は名称】 長谷川 芳樹

【選任した代理人】

【識別番号】 100089978

【弁理士】

【氏名又は名称】 塩田 辰也

【選任した代理人】

【識別番号】 100092657

【弁理士】

【氏名又は名称】 寺崎 史朗

【選任した代理人】

【識別番号】 100110582

【弁理士】

【氏名又は名称】 柴田 昌聰

【選任した代理人】

【識別番号】 100113435

【弁理士】

【氏名又は名称】 黒木 義樹

【先の出願に基づく優先権主張】

【出願番号】 特願2002-358462

【出願日】 平成14年12月10日

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 014708

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0106993

【ブルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光ファイバ

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 所定軸に沿って延びるコア領域と、該コア領域を囲むクラッド領域とを備え、

前記クラッド領域は、前記コア領域を囲む第1領域、該第1領域を囲む第2領域の順に、該コア領域と同軸に設けられた第1～第(N+1)領域(Nは2以上の整数)を有し、

前記第1～第(N+1)領域の少なくとも1つは、所定の屈折率を有する主媒質中に、該主媒質と異なる屈折率を有する副媒質からなる領域を含み、

前記コア領域の平均屈折率をn[0]とし、前記第k領域の平均屈折率をn[k](k=1, 2, …, N+1)としたとき、

$n[0] > n[1]$ 、且つ $n[i] > n[i+1]$ ($\forall i = h, h+1, \dots, h+m$; h, mは自然数)

の関係を満たすことを特徴とする光ファイバ。

【請求項 2】 $n[i] > n[i+1]$ ($\forall i = 0, 1, \dots, N$)
の関係を満たすことを特徴とする請求項1に記載の光ファイバ。

【請求項 3】 前記クラッド領域は、前記第(N+1)領域を囲む第(N+2)領域を有し、

前記第(N+2)領域の平均屈折率n[N+2]と、前記第(N+1)領域の平均屈折率n[N+1]とは、

$n[N+1] < n[N+2]$

の関係を満たすことを特徴とする請求項2に記載の光ファイバ。

【請求項 4】 前記主媒質は、純粋なシリカガラス、またはGe、F、Cl、P、N、B、Al、Ti、Er、Yb、Nd、Pr、Biの少なくともいずれかを含むシリカガラスであり、前記副媒質は、真空または気体であることを特徴とする請求項2に記載の光ファイバ。

【請求項 5】 50nm以上の幅の所定波長帯域においてゼロ分散での分散非平坦度が0.003ps/nm²/km以下であることを特徴とする請求項2

に記載の光ファイバ。

【請求項6】 50 nm以上の幅の所定波長帯域において分散非平坦度が0.004 ps/nm²/km以下であり、該所定波長帯域における波長分散の平均値が+20 ps/nm/km以下の異常分散であることを特徴とする請求項2に記載の光ファイバ。

【請求項7】 50 nm以上の幅の所定波長帯域において分散非平坦度が0.006 ps/nm²/km以下であり、該所定波長帯域における波長分散の平均値が-20 ps/nm/km以上の正常分散であることを特徴とする請求項2に記載の光ファイバ。

【請求項8】 前記副媒質からなる領域の前記所定軸に垂直な断面積が、該所定軸に沿って変化していることを特徴とする請求項2に記載の光ファイバ。

【請求項9】 50 nm以上の幅の所定波長帯域において分散非平坦度が0.007 ps/nm²/km以下であり、該所定波長帯域における波長分散の平均値が+1 ps/nm/km以上の異常分散である第1種ファイバ区間と、

前記所定波長帯域において分散非平坦度が0.007 ps/nm²/km以下であり、該所定波長帯域における波長分散の平均値が-1 ps/nm/km以下の正常分散である第2種ファイバ区間と、

を有することを特徴とする請求項8に記載の光ファイバ。

【請求項10】 一端と他端とで規定されるファイバ区間を有し、該ファイバ区間では、50 nm以上の幅の所定波長帯域において分散非平坦度が0.007 ps/nm²/km以下であり、前記一端での所定波長における波長分散が+1 ps/nm/km以上の異常分散で、該一端から前記他端に向かって波長分散が連続的に低下し、該他端における波長分散は該一端における波長分散の半値以下であることを特徴とする請求項8に記載の光ファイバ。

【請求項11】 250 nm以上の幅の所定波長帯域内に含まれる各波長 λ に対して、

波長分散がD(λ)であり、

$$F(\lambda) = a\lambda^{-4} + b\lambda^{-2} + c + d\lambda^2 + e\lambda^4$$

$$a = -24.495 \text{ [ps/nm/km/} \mu \text{m}^{-4}]$$

$$b = -54.564 \text{ [ps/nm/km/} \mu \text{m}^{-2}]$$

$$c = 35.069 \text{ [ps/nm/km]}$$

$$d = 1.8867 \text{ [ps/nm/km/} \mu \text{m}^2]$$

$$e = 0.80887 \text{ [ps/nm/km/} \mu \text{m}^4]$$

で定義される関数 $F(\lambda)$ との間で、

$$G(\lambda, x) = |(F(\lambda) + xD(\lambda)) / (1+x)|$$

なる関数 $G(\lambda, x)$ を定義したとき、

$$G(\lambda, x) < 0.25 \text{ [ps/nm/km]}$$

なる関係を満たす正数 x を与えることを特徴とする請求項2に記載の光ファイバ
。

【請求項12】 $n[0] > n[1], n[1] < n[2]$ 、且つ $n[i] > n[i+1]$ $(\forall i = 2, 3, \dots, 2+m; m \text{ は自然数})$
の関係を満たすことを特徴とする請求項1に記載の光ファイバ。

【請求項13】 250nm以上 の幅の所定波長帯域内に含まれる各波長 λ
に対して、

波長分散が $D(\lambda)$ であり、

$$F(\lambda) = a\lambda^{-4} + b\lambda^{-2} + c + d\lambda^2 + e\lambda^4$$

$$a = -24.495 \text{ [ps/nm/km/} \mu \text{m}^{-4}]$$

$$b = -54.564 \text{ [ps/nm/km/} \mu \text{m}^{-2}]$$

$$c = 35.069 \text{ [ps/nm/km]}$$

$$d = 1.8867 \text{ [ps/nm/km/} \mu \text{m}^2]$$

$$e = 0.80887 \text{ [ps/nm/km/} \mu \text{m}^4]$$

で定義される関数 $F(\lambda)$ との間で、

$$G(\lambda, x) = |(F(\lambda) + xD(\lambda)) / (1+x)|$$

なる関数 $G(\lambda, x)$ を定義したとき、

$$G(\lambda, x) < 0.25 \text{ [ps/nm/km]}$$

なる関係を満たす正数 x を与えることを特徴とする請求項12に記載の光ファイ
バ。

【請求項14】 50nm以上の幅の所定波長帯域においてゼロ分散での分散非平坦度が0.003ps/nm²/km以下であることを特徴とする光ファイバ。

【請求項15】 50nm以上の幅の所定波長帯域において分散非平坦度が0.004ps/nm²/km以下であり、該所定波長帯域における波長分散の平均値が+20ps/nm/km以下の異常分散であることを特徴とする光ファイバ。

【請求項16】 50nm以上の幅の所定波長帯域において分散非平坦度が0.006ps/nm²/km以下であり、前記所定波長帯域における波長分散の平均値が-20ps/nm/km以上の正常分散であることを特徴とする光ファイバ。

【請求項17】 50nm以上の幅の所定波長帯域において分散非平坦度が0.007ps/nm²/km以下であり、該所定波長帯域における波長分散の平均値が+1ps/nm/km以上の異常分散である第1種ファイバ区間と、

前記所定波長帯域において分散非平坦度が0.007ps/nm²/km以下であり、該所定波長帯域における波長分散の平均値が-1ps/nm/km以下の正常分散である第2種ファイバ区間と、

を有することを特徴とする光ファイバ。

【請求項18】 一端と他端とで規定されるファイバ区間を有し、該ファイバ区間では、50nm以上の幅の所定波長帯域において分散非平坦度が0.007ps/nm²/km以下であり、前記一端での所定波長における波長分散が+1ps/nm/km以上の異常分散で、該一端から前記他端に向かって波長分散が連続的に低下し、該他端における波長分散は該一端における波長分散の半値以下であることを特徴とする光ファイバ。

【請求項19】 250nm以上の幅の所定波長帯域内に含まれる各波長λに対して、

波長分散がD(λ)であり、

$$F(\lambda) = a\lambda^{-4} + b\lambda^{-2} + c + d\lambda^2 + e\lambda^4$$

$$a = -24.495 \text{ [ps/nm/km/μm}^{-4}\text{]}$$

$$b = -54.564 \text{ [ps/nm/km/} \mu \text{m}^{-2}]$$

$$c = 35.069 \text{ [ps/nm/km]}$$

$$d = 1.8867 \text{ [ps/nm/km/} \mu \text{m}^2]$$

$$e = 0.80887 \text{ [ps/nm/km/} \mu \text{m}^4]$$

で定義される関数 $F(\lambda)$ との間で、

$$G(\lambda, x) = |(F(\lambda) + xD(\lambda)) / (1+x)|$$

なる関数 $G(\lambda, x)$ を定義したとき、

$$G(\lambda, x) < 0.25 \text{ [ps/nm/km]}$$

なる関係を満たす正数 x を与えることを特徴とする光ファイバ。

【請求項 20】 前記第 $(N+1)$ 領域の径方向の厚さを $T[N+1] \mu \text{m}$ としたとき、

【数 1】

$$T[N+1] \cdot \sqrt{n[0]^2 - n[N+1]^2} > 1.0$$

の関係を満たすことを特徴とする請求項 1、2 及び 12 のいずれかに記載の光ファイバ。

【請求項 21】 前記所定波長帯域における伝送損失が 0.1 dB/m 以下であることを特徴とする請求項 5～7、11、14～16 及び 19 のいずれかに記載の光ファイバ。

【請求項 22】 前記所定波長帯域における伝送損失が 3 dB/m 以下であることを特徴とする請求項 13 に記載の光ファイバ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、光ファイバに関する。

【0002】

【従来の技術】

従来より、光ファイバの構造として種々のものが提案されており、その中に、軸方向に延びる空孔を有するいわゆる微細構造光ファイバと呼ばれるものがある

。この光ファイバは、シリカガラス等の主媒質と気体等の副媒質とから構成されており、主媒質と副媒質との間の屈折率差を利用して屈折率を調整することにより、波長分散等の特性を調整している。

【0003】

このような光ファイバとして、例えば特許文献1には、内側クラッドの穴径を外側クラッドの穴径よりも大きくすることにより、大きな負の波長分散を得るようした光ファイバが開示されている。

【0004】

また、例えば非特許文献1～3には、穴径と穴のピッチとを最適化することにより、波長依存性の小さいフラットな波長分散特性を有する光ファイバが開示されている。

【0005】

更に、例えば特許文献2には、ファイバ構造をファイバ軸に沿って変化させることにより、ファイバ軸に沿って波長分散の符号が変化して全体として分散の調整が図られた光ファイバが開示されている。

【0006】

【特許文献1】

米国特許第5802236号明細書

【特許文献2】

国際公開第00/16141号パンフレット

【非特許文献1】

A. Ferrando et al, "Designing the properties of dispersion-flattened photonic crystal fibers", Optic Express, Optical Society of America, 17 December 2001, Vol. 9, No. 13, p. 687-697

【非特許文献2】

A. Ferrando et al, "Nearly zero ultraflattened dispersion in photonic crystal fibers", Optics Letters, Optical Society of America, 1 June 2000, Vol. 25, No. 11, p. 790-792

【非特許文献3】

A. Ferrando et al, "Designing a photonic crystal fiber with flattened chromatic dispersion", Electronics Letters, 18 February 1999, Vol. 35, No. 4, p. 325-327

【0007】

【発明が解決しようとする課題】

発明者は、上記した従来の技術を検討した結果、以下のような課題を発見した。すなわち、上記した従来の光ファイバは、クラッドにおける平均屈折率を3層以上の層数に渡って段階的に低減する構成を有していなかった。従って、クラッドにおいて光が外側の領域へしみ出す程度は波長に大きく依存せず、分散特性に大きく影響を及ぼすクラッドの領域は波長によらず同じであったことから、各層が波長分散特性に与える影響は、内側の層から外側の層に向かって急激に小さくなり、波長分散の調整の自由度及び調整可能な波長範囲が小さかった。その結果、分散フラットファイバにおいてフラットな分散が得られる波長範囲が小さい問題や、分散補償ファイバにおいて平均分散を小さくできる波長範囲が小さい問題が生じていた。また、導波構造のスケール変動に伴う分散非平坦度の変化が小さい構造が見出されておらず、平均分散値の異なる分散フラットファイバの多品種少量生産が難しいという問題や、広い波長帯域でフラットな分散を有する分散マネジメントファイバや分散減少ファイバの実現が難しいという問題があった。

【0008】

本発明は、上記問題点を解消する為になされたものであり、波長分散の調整の自由度及び調整可能な波長範囲の増大を図ることが可能な光ファイバを提供することを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】

本発明に係る光ファイバは、所定軸に沿って延びるコア領域と、コア領域を囲むクラッド領域とを備える。クラッド領域は、コア領域を囲む第1領域、第1領域を囲む第2領域の順に、コア領域と同軸に設けられた第1～第(N+1)領域(Nは2以上の整数)を有し、第1～第(N+1)領域の少なくとも1つは、所定の屈折率を有する主媒質中に、主媒質と異なる屈折率を有する副媒質からなる

領域を含み、コア領域の平均屈折率を $n[0]$ とし、第 k 領域の平均屈折率を $n[k]$ ($k = 1, 2, \dots, N+1$) としたとき、

$n[0] > n[1]$ 、且つ $n[i] > n[i+1]$ ($\forall i = h, h+1, \dots, h+m$; h, m は自然数)

の関係を満たすことを特徴とする。

【0010】

この光ファイバでは、クラッド領域は3層以上の領域を有し、この3層以上の領域では、波長が長いほど外側の領域への光のしみ出しが増大する。よって、短波長での分散特性は内側の領域の影響を受け、長波長での分散特性は外側の領域の影響を受けることとなる。その結果、波長分散の調整の自由度及び調整可能な波長範囲の増大が図られる。

【0011】

本発明に係る光ファイバは、 $n[i] > n[i+1]$ ($\forall i = 0, 1, \dots, N$) の関係を満たすことを特徴としてもよい。このようにすれば、クラッド領域はコア領域に隣接した3層以上の領域を有し、この3層以上の領域では波長が長いほど外側の領域への光のしみ出しが増大する。よって、短波長での分散特性は内側のクラッド領域の影響を受け、長波長での分散特性はより外側のクラッド領域の影響を受けることとなる。その結果、波長分散の調整の自由度及び調整可能な波長範囲の増大が図られると共に、導波構造のスケール変化に伴う分散非平坦度の変化を小さくすることができる。その結果、所定軸方向のファイバ径変動による分散非平坦度の上昇を抑制することができる。また、このような光ファイバの構造は、母材からファイバ径を変化させて線引し、フラットな分散で異なる平均分散値を有する複数種の光ファイバを製造するのに好適であり、これによりコスト上昇を抑制しつつ多品種少量生産を行うことが可能となる。さらに、このような光ファイバの構造は、母材から線引する際に、長手方向にファイバ径を所定値以上の振幅で変化させて線引するのに好適であり、これにより広帯域で使用可能な分散マネジメントファイバを容易に製造することが可能となる。

【0012】

本発明に係る光ファイバでは、クラッド領域は、第 $(N+1)$ 領域を囲む第 (

$N+2$ ）領域を有し、第 $(N+2)$ 領域の平均屈折率 $n_{[N+2]}$ と、前記第 $(N+1)$ 領域の平均屈折率 $n_{[N+1]}$ とは、 $n_{[N+1]} < n_{[N+2]}$ の関係を満たすことを特徴としてもよい。このようにすれば、長波長での外側のクラッド領域への光のしみ出しが増大され、これにより長波長での分散特性の制御性が高まり、より広い波長帯域でフラットな分散特性を実現することができる。

【0013】

本発明に係る光ファイバでは、主媒質は、純粋なシリカガラス、またはGe、F、Cl、P、N、B、Al、Ti、Er、Yb、Nd、Pr、Biの少なくともいずれかを含むシリカガラスであり、副媒質は、真空または気体であることを特徴としてもよい。このようにすれば、フラットな分散を実現できる波長帯域と伝送損失を低く抑えることができる波長帯域とがほぼ一致するため、フラットな分散と低損失を有する光ファイバを実現することが可能となる。

【0014】

本発明に係る光ファイバは、50nm以上の幅の所定波長帯域においてゼロ分散での分散非平坦度が $0.003\text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 以下であることを特徴としてもよい。このようにすれば、広帯域の光信号を伝送した際の波形歪みを抑制することができるため、短パルス光の伝送に適した光ファイバを実現することが可能となる。

【0015】

このとき、当該所定波長帯域における伝送損失が 0.1 dB/m 以下であると好ましい。このようにすれば、短パルス光の伝送において、伝送損失が低いため伝送距離を拡大することが可能となり、送信光の所要光パワーが低減される結果、非線系光学効果による伝送品質の劣化を抑制することが可能となる。

【0016】

本発明に係る光ファイバは、50nm以上の幅の所定波長帯域において分散非平坦度が $0.004\text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 以下であり、所定波長帯域における波長分散の平均値が $+20\text{ ps/nm/km}$ 以下の異常分散であることを特徴としてもよい。このようにすれば、広帯域のソリトン伝送や、広帯域の波長多重伝送（WDM伝送）、広帯域のスーパーコンティニューム光発生に適した光ファイバを

実現することが可能となる。

【0017】

このとき、当該所定波長帯域における伝送損失が0.1dB/m以下であると好ましい。このようにすれば、広帯域のWDM伝送やソリトン伝送において、伝送損失が低いため伝送距離を拡大することが可能となり、送信光の所要光パワーが低減される結果、非線系光学効果による伝送品質の劣化を抑制することが可能となる。また、広帯域のスーパーコンティニューム光の発生において、伝送損失が低いため所要光パワーを低減することが可能となる。

【0018】

本発明に係る光ファイバは、50nm以上の幅の所定波長帯域において分散非平坦度が0.006ps/nm²/km以下であり、所定波長帯域における波長分散の平均値が-20ps/nm/km以上の正常分散であることを特徴としてもよい。このようにすれば、広帯域のWDM伝送や、広帯域のスーパーコンティニューム光発生に適した光ファイバを実現することが可能となる。

【0019】

このとき、当該所定波長帯域における伝送損失が0.1dB/m以下であると好ましい。このようにすれば、広帯域のWDM伝送において、伝送損失が低いため伝送距離を拡大することが可能となり、送信光の所要光パワーが低減される結果、非線系光学効果による伝送品質の劣化を抑制することが可能となる。また、広帯域のスーパーコンティニューム光の発生において、伝送損失が低いため所要光パワーを低減することが可能となる。

【0020】

本発明に係る光ファイバは、副媒質からなる領域の所定軸に垂直な断面での断面積が、所定軸に沿って変化していることを特徴としてもよい。このようにすれば、分散非平坦度の上昇を抑制しながら所定軸に沿って波長分散値を変化させることができる。その結果、広帯域で使用可能な分散マネジメントファイバや分散減少ファイバを実現することが可能となる。

【0021】

本発明に係る光ファイバでは、50nm以上の幅の所定波長帯域において分散

非平坦度が $0.007 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 以下であり、所定波長帯域における波長分散の平均値が $+1 \text{ ps/nm}/\text{km}$ 以上の異常分散である第1種ファイバ区間と、所定波長帯域において分散非平坦度が $0.007 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 以下であり、所定波長帯域における波長分散の平均値が $-1 \text{ ps/nm}/\text{km}$ 以下の正常分散である第2種ファイバ区間と、を有することを特徴としてもよい。このようにすれば、WDM伝送やソリトン伝送において、非線形光学効果と波長分散によって生じる伝送品質劣化を、広帯域に渡って抑制することが可能な分散マネジメントファイバを実現することが可能となる。

【0022】

本発明に係る光ファイバでは、一端と他端とで規定されるファイバ区間を有し、ファイバ区間では、 50 nm 以上の幅の所定波長帯域において分散非平坦度が $0.007 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 以下であり、一端での所定波長における波長分散が $+1 \text{ ps/nm}/\text{km}$ 以上の異常分散で、一端から他端に向かって波長分散が連続的に低下し、他端における波長分散は一端における波長分散の半値以下であることを特徴としてもよい。このようにすれば、広帯域かつ高コヒーレンスのスーパーコンティニューム光の発生に適した分散減少光ファイバを実現することが可能となる。

【0023】

本発明に係る光ファイバでは、 250 nm 以上の幅の所定波長帯域内に含まれる各波長 λ に対して、波長分散が $D(\lambda)$ であり、

$$F(\lambda) = a\lambda^{-4} + b\lambda^{-2} + c + d\lambda^2 + e\lambda^4$$

$$a = -24.495 \text{ [ps/nm/km/}\mu\text{m}^{-4}]$$

$$b = -54.564 \text{ [ps/nm/km/}\mu\text{m}^{-2}]$$

$$c = 35.069 \text{ [ps/nm/km]}$$

$$d = 1.8867 \text{ [ps/nm/km/}\mu\text{m}^2]$$

$$e = 0.80887 \text{ [ps/nm/km/}\mu\text{m}^4]$$

で定義される関数 $F(\lambda)$ との間で、

$G(\lambda, x) = |(F(\lambda) + xD(\lambda)) / (1+x)|$
なる関数 $G(\lambda, x)$ を定義したとき、

$$G(\lambda, x) < 0.25 \text{ [ps/nm/km]}$$

なる関係を満たす正数 x を与えることを特徴としてもよい。このようにすれば、波長分散が実質的に関数 $F(\lambda)$ で与えられる単一モード光ファイバの波長分散を広帯域に亘って補償することができる。このような単一モード光ファイバは、ITU-T G. 652 に定められた光ファイバとして広く実用に供されているものである。

【0024】

このとき、当該所定波長帯域における伝送損失が 0.1 dB/m 以下であると好ましい。このようにすれば、ITU-T G. 652 に定められた単一モード光ファイバの分散補償において、伝送損失が低いため補償分散量の拡大が可能となり、送信光の所要光パワーが低減される結果、非線系光学効果による伝送品質の劣化を抑制することが可能となる。

【0025】

本発明に係る光ファイバでは、 $n[0] > n[1] > n[2]$ 、且つ $n[i] > n[i+1]$ ($\forall i = 2, 3, \dots, 2+m$; m は自然数) の関係を満たすことを特徴としてもよい。このようにすれば、広い波長帯域に渡って構造分散を負に大きくすることができる。その結果、広帯域での分散補償に適した分散特性を実現することができる。

【0026】

本発明に係る光ファイバでは、 250 nm 以上の幅の所定波長帯域内に含まれる各波長 λ に対して、波長分散が $D(\lambda)$ であり、

$$F(\lambda) = a\lambda^{-4} + b\lambda^{-2} + c + d\lambda^2 + e\lambda^4$$

$$a = -24.495 \text{ [ps/nm/km/}\mu\text{m}^{-4}\text{]}$$

$$b = -54.564 \text{ [ps/nm/km/}\mu\text{m}^{-2}\text{]}$$

$$c = 35.069 \text{ [ps/nm/km]}$$

$$d = 1.8867 \text{ [ps/nm/km/}\mu\text{m}^2\text{]}$$

$$e = 0.80887 \text{ [ps/nm/km/}\mu\text{m}^4\text{]}$$

で定義される関数 $F(\lambda)$ との間で、

$$G(\lambda, x) = |(F(\lambda) + xD(\lambda)) / (1+x)|$$

なる関数 $G(\lambda, x)$ を定義したとき、

$$G(\lambda, x) < 0.25 \text{ [ps/nm/km]}$$

なる関係を満たす正数 x を与えることを特徴としてもよい。このようにすれば、波長分散が実質的に関数 $F(\lambda)$ で与えられる単一モード光ファイバの波長分散を広帯域に亘って補償することができる。このような単一モード光ファイバは、ITU-T G. 652 に定められた光ファイバとして広く実用に供されているものである。

【0027】

このとき、当該所定波長帯域における伝送損失が 3 dB/m 以下であると好ましい。このようにすれば、ITU-T G. 652 に定められた単一モード光ファイバの分散補償において、伝送損失が低いため補償分散量の拡大が可能となり、送信光の所要光パワーが低減される結果、非線系光学効果による伝送品質の劣化を抑制することが可能となる。

【0028】

本発明に係る光ファイバは、 50 nm 以上の幅の所定波長帯域においてゼロ分散での分散非平坦度が $0.003 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 以下であることを特徴とする。この光ファイバは、広帯域の光信号を伝送した際の波形歪みを抑制することができるため、短パルス光の伝送に適している。

【0029】

このとき、当該所定波長帯域における伝送損失が 0.1 dB/m 以下であると好ましい。このようにすれば、短パルス光の伝送において、伝送損失が低いため伝送距離を拡大することが可能となり、送信光の所要光パワーが低減される結果、非線系光学効果による伝送品質の劣化を抑制することが可能となる。

【0030】

本発明に係る光ファイバは、 50 nm 以上の幅の所定波長帯域において分散非平坦度が $0.004 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 以下であり、所定波長帯域における波長分散の平均値が $+20 \text{ ps/nm/km}$ 以下の異常分散であることを特徴とする。この光ファイバは、広帯域のソリトン伝送や、広帯域のWDM伝送、広帯域のスーパーコンティニューム光発生に適している。

【0031】

このとき、当該所定波長帯域における伝送損失が0.1dB/m以下であると好ましい。このようにすれば、広帯域のWDM伝送やソリトン伝送において、伝送損失が低いため伝送距離を拡大することが可能となり、送信光の所要光パワーが低減される結果、非線系光学効果による伝送品質の劣化を抑制することが可能となる。また、広帯域のスーパーコンティニューム光の発生において、伝送損失が低いため所要光パワーを低減することが可能となる。

【0032】

本発明に係る光ファイバは、50nm以上の幅の所定波長帯域において分散非平坦度が0.006ps/nm²/km以下であり、所定波長帯域における波長分散の平均値が-20ps/nm/km以上の正常分散であることを特徴とする。この光ファイバは、広帯域のWDM伝送や、広帯域のスーパーコンティニューム光発生に適している。

【0033】

このとき、当該所定波長帯域における伝送損失が0.1dB/m以下であると好ましい。このようにすれば、広帯域のWDM伝送において、伝送損失が低いため伝送距離を拡大することが可能となり、送信光の所要光パワーが低減される結果、非線系光学効果による伝送品質の劣化を抑制することが可能となる。また、広帯域のスーパーコンティニューム光の発生において、伝送損失が低いため所要光パワーを低減することが可能となる。

【0034】

本発明に係る光ファイバは、50nm以上の幅の所定波長帯域において分散非平坦度が0.007ps/nm²/km以下であり、所定波長帯域における波長分散の平均値が+1ps/nm/km以上の異常分散である第1種ファイバ区間と、所定波長帯域において分散非平坦度が0.007ps/nm²/km以下であり、所定波長帯域における波長分散の平均値が-1ps/nm/km以下の正常分散である第2種ファイバ区間と、を有することを特徴とする。この光ファイバでは、WDM伝送やソリトン伝送において、非線形光学効果と波長分散によって生じる伝送品質劣化を、広帯域に渡って抑制することが可能となる。

【0035】

本発明に係る光ファイバは、一端と他端とで規定されるファイバ区間を有し、ファイバ区間では、50 nm以上 の幅の所定波長帯域において分散非平坦度が0.007 ps/nm²/km以下であり、一端での所定波長における波長分散が+1 ps/nm/km以上の異常分散で、一端から他端に向かって波長分散が連続的に低下し、他端における波長分散は一端における波長分散の半値以下であることを特徴とする。この光ファイバは、広帯域かつ高コヒーレンスのスーパーコンティニューム光の発生に適している。

【0036】

本発明に係る光ファイバは、250 nm以上 の幅の所定波長帯域内に含まれる各波長 λ に対して、波長分散が $D(\lambda)$ であり、

$$F(\lambda) = a\lambda^{-4} + b\lambda^{-2} + c + d\lambda^2 + e\lambda^4$$

$$a = -24.495 \text{ [ps/nm/km/}\mu\text{m}^{-4}]$$

$$b = -54.564 \text{ [ps/nm/km/}\mu\text{m}^{-2}]$$

$$c = 35.069 \text{ [ps/nm/km]}$$

$$d = 1.8867 \text{ [ps/nm/km/}\mu\text{m}^2]$$

$$e = 0.80887 \text{ [ps/nm/km/}\mu\text{m}^4]$$

で定義される関数 $F(\lambda)$ との間で、

$$G(\lambda, x) = |(F(\lambda) + xD(\lambda)) / (1+x)|$$

なる関数 $G(\lambda, x)$ を定義したとき、

$$G(\lambda, x) < 0.25 \text{ [ps/nm/km]}$$

なる関係を満たす正数 x を与えることを特徴とする。

【0037】

この光ファイバでは、波長分散が実質的に関数 $F(\lambda)$ で与えられる单一モード光ファイバの波長分散を広帯域に亘って補償することができる。このような单一モード光ファイバは、ITU-T G.652に定められた光ファイバとして広く実用に供されているものである。

【0038】

このとき、当該所定波長帯域における伝送損失が0.1 dB/m以下であると

好みしい。このようにすれば、短パルス光の伝送において、伝送損失が低いため伝送距離を拡大することが可能となり、送信光の所要光パワーが低減される結果、非線系光学効果による伝送品質の劣化を抑制することが可能となる。

【0039】

本発明に係る光ファイバでは、第（N+1）領域の径方向の厚さをT[N+1] μ mとしたとき、

【0040】

【数2】

$$T[N+1] \cdot \sqrt{n[0]^2 - n[N+1]^2} > 1.0$$

の関係を満たすことを特徴としてもよい。このようにすれば、クラッド領域による光の閉じ込め損失を低減することができ、低い伝送損失を実現可能となる。

【0041】

【発明の実施の形態】

以下、添付図面を参照して本発明の実施形態を詳細に説明する。なお、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

【0042】

（第1実施形態）

図1は、本実施形態に係る光ファイバ10を側方から見た図であり、図2は、図1に示す光ファイバ10をファイバ軸（所定軸）Xに垂直な断面で切った断面を示す断面図である。

【0043】

図1及び図2に示すように、この光ファイバ10はファイバ軸Xに沿って伸び、主媒質から形成された円柱状の部材に、主媒質とは異なる屈折率を有する副媒質から形成された領域が、ファイバ軸Xに垂直な断面内に複数設けられたものである。

【0044】

ここで、主媒質とは、単独で光ファイバを構成することができる媒質であり、例えばガラスやポリマを用いることができる。また、副媒質とは、必ずしも単独

で光ファイバを構成することができなくてもよい媒質であり、例えばガラスやポリマの他に、液体や気体や真空を用いることができる。

【0045】

本実施形態では、主媒質としてガラスが用いられており、副媒質として気体（不活性気体あるいは活性気体）が用いられている。不活性気体としては、典型的には空気、N₂、A r、N e、H eなどが挙げられる。活性気体としては、H₂などが挙げられる。より詳細には、主媒質としてシリカガラスが用いられており、副媒質として空気が用いられている。この副媒質としての空気は、ファイバ軸Xに沿ってシリカガラス中に設けた空孔内に所定圧力で封入されている。なお、副媒質としてH₂などの活性気体を用いれば、光增幅特性を実現させることができる。

【0046】

主媒質としてのシリカガラスは、典型的には純粋な（故意には不純物が添加されていない）シリカガラスを用いることができるが、G e、F、C l、B、A l、及びT iの少なくともいずれかを添加して材料屈折率分布を形成してもよい。これにより、例えば複数本のファイバを融着接続する際に、空孔が潰れても材料屈折率分布により光が導波され、融着接続損失が小さい光ファイバを実現することができる。また、G eを添加して紫外線を照射することによりグレーティングを形成してもよい。これにより、ファイバグレーティングデバイスが形成され、光フィルタや光パワー等価器として利用することが可能となる。また、G e、P、N及びB iの少なくともいずれかを添加して非線形屈折率を高めてもよい。これにより、スーパーコンティニューム光の発生に必要な光パワーを低減したり、ラマン散乱スペクトルを変化させて広帯域でのラマン増幅媒体として好適な光ファイバを実現することが可能となる。更に、E r、Y b、N d、及びP rの少なくともいずれかを添加することにより、光增幅特性を実現することが可能となる。

【0047】

図2を参照して、光ファイバ10について更に詳細に説明すると、この光ファイバ10の中心には空孔を含まないコア領域12が設けられている。そして、コ

ア領域12を囲むようにクラッド領域14が設けられている。クラッド領域14は、コア領域12を囲む第1領域16と、第1領域16を囲む第2領域18と、第2領域18を囲む第3領域20と、第3領域20を囲む第4領域22と、第4領域22を囲む第5領域24と、第5領域24を囲む外周領域26と、を有している。これら第1～第5領域16～24、及び外周領域26は、ファイバ軸Xと同軸に設けられている。第1領域16は、6個の空孔28を含んでいる。第2領域18は、12個の空孔30を含んでいる。第3領域20は、18個の空孔32を含んでいる。第4領域22は、24個の空孔34を含んでいる。第5領域24は、30個の空孔36を含んでいる。そして、外周領域26は空孔を含んでいない。これら空孔28～36は、実質的に六方格子の格子点上に配置されており、隣接する空孔間のピッチ△は等間隔とされている。

【0048】

これら空孔28～36のサイズは所望の値に調整されており、コア領域12の平均屈折率を $n[0]$ とし、クラッド領域14が含む第k領域16～20の平均屈折率を $n[k]$ ($k = 1, 2, 3$) としたとき、

$$n[i] > n[i+1] \quad (\forall i = 0, 1, 2) \quad \dots \quad (1)$$

の関係を満たしている。

【0049】

ここで、M種類の媒質 j ($j = 1, \dots, M$) によって構成される領域の平均屈折率 n_{avg} は、媒質 j の屈折率を $N[j]$ 、体積を $f[j]$ として、

【0050】

【数3】

$$n_{avg} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^M N^2[j]f[j]}{\sum_{j=1}^M f[j]}} \quad \dots \quad (2)$$

で定義される。

【0051】

特に本実施形態に係る光ファイバ10では、クラッド領域14は、第3領域2

0を囲む第4領域22を有し、第4領域22の平均屈折率n[4]と、第3領域20の平均屈折率n[3]とは、

$$n[3] < n[4] \dots \quad (3)$$

の関係を満たしていると好ましい。

【0052】

更に、本実施形態に係る光ファイバ10では、50nm以上1000nm以下の幅の所定波長帯域においてゼロ分散での分散非平坦度が0.003ps/nm²/km以下0ps/nm²/km以上であると好ましい。

【0053】

ここで、波長帯域 $\lambda_1 \sim \lambda_2$ における分散非平坦度Uは、波長帯域 $\lambda_1 \sim \lambda_2$ における波長分散の最大値と最小値とを $D_{\max} \sim D_{\min}$ として、

$$U = (D_{\max} - D_{\min}) / |\lambda_2 - \lambda_1| \dots \quad (4)$$

で表される。特に、 $D_{\min} < 0 < D_{\max}$ のとき、ゼロ分散での分散非平坦度という。

【0054】

上記した構造の光ファイバ10において、空孔28～36等のサイズの一例を挙げると、例えば空孔28の直径は0.49μmであり、空孔30の直径は0.706μmであり、空孔32の直径は0.86μmであり、空孔34の直径は0.60μmであり、空孔36の直径は0.60μmである。そして、隣接する空孔間のピッチΛは、1.6μmである。従って、シリカガラス及び空気の屈折率をそれぞれ1.444及び1とすると、コア領域12の平均屈折率n[0]は1.444となり、第1～第3領域の平均屈折率16～20は、それぞれn[1]=1.4117、n[2]=1.3761、n[3]=1.3419となり、上記(1)式を満たす。また第4領域22の平均屈折率はn[4]=1.3953となり、上記(3)式を満たす。なお、第5領域24の平均屈折率n[5]は1.3953であり、外周領域26の平均屈折率は1.444である。

【0055】

図3は、上記例示した光ファイバ10の波長分散特性を示すグラフである。図3に示すように、1.3μm～1.8μmの波長範囲で波長分散は-0.5ps

$\text{nm}/\text{km} \sim +0.5 \text{ ps}/\text{nm}/\text{km}$ の範囲に入っており、ゼロ分散での分散非平坦度が $0.002 \text{ ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 以下 $0 \text{ ps}/\text{nm}^2/\text{km}$ 以上である。

【0056】

次に、上記した構造の光ファイバ10を製造する方法について2つの方法を説明する。

【0057】

第1の方法では、図4に示すように、外径60mmの円柱状のガラス焼結体40に、六方格子の格子点上に配置されるように、穿孔具42を使って2.12mm、3.05mm、3.72mm、2.59mmの穴44をそれぞれ6、12、18、54（24+30）の個数で等間隔で空ける。そして、このガラス焼結体40を5mmに延伸した後、内径約5mm、外径36mmのガラス管と一体化させ、図5に示すように、ヒータ46により加熱しながらこれを線引して外径100μmの光ファイバ48とする。なお、ガラス焼結体40に穴44を空けた後、穴44の内面をエッティング処理することにより、不純物や穴表面の凹凸による吸収損失や散乱損失の少ない光ファイバを作成することができる。

【0058】

一方、第2の方法では、図6に示すように、外径が0.72mmのガラスロッド50を1本と、内径及び外径が0.22mm/0.72mm、0.32mm/0.72mm、0.39mm/0.72mm、0.27mm/0.72mmの4種類のガラスキャピラリ管52それぞれ6、12、18、54（24+30）本を束ねて、外径36mmのオーバークラッド管54の中に入れてプリフォームを形成し、これを線引して外径80μmの光ファイバとする。

【0059】

次に、本実施形態に係る光ファイバ10の作用及び効果について説明する。

【0060】

本実施形態に係る光ファイバ10では、クラッド領域14は上記（1）式の関係を満たすような3層の領域16～20を有し、波長が長いほど外側の領域への光のしみ出しが増大する。よって、短波長での分散特性は内側のクラッド領域1

4の影響を受け、長波長での分散特性はより外側のクラッド領域14の影響を受けることとなる。従って、波長分散の調整の自由度及び調整可能な波長範囲の増大が図られると共に、導波構造のスケール変化に伴う分散非平坦度の変化を小さくすることができる。その結果、ファイバ軸X方向のファイバ径変動による分散非平坦度の上昇を抑制することができる。また、このような光ファイバ10の構造は、母材からファイバ径を変化させて線引し、フラットな分散で異なる平均分散値を有する複数種の光ファイバを製造するのに好適であり、これによりコスト上昇を抑制しつつ多品種少量生産を行うことが可能となる。さらに、このような光ファイバの構造は、母材から線引する際に、ファイバ軸X方向にファイバ径を所定値以上の振幅で変化させて線引するのに好適であり、これにより広帯域で使用可能な分散マネジメントファイバを容易に製造することが可能となる。

【0061】

特に本実施形態に係る光ファイバ10において、クラッド領域14は、第3領域20を囲む第4領域22を有し、第4領域22の平均屈折率n[4]と、第3領域20の平均屈折率n[3]とが、上記(3)式の関係を満たすようにすれば、長波長での外側のクラッド領域14への光のしみ出しが増大され、長波長での分散特性の制御性が高まり、より広い波長帯域でフラットな分散特性を実現することが可能となる。

【0062】

更に、本実施形態に係る光ファイバ10において、50nm以上1000nm以下の幅の所定波長帯域においてゼロ分散での分散非平坦度が0.003ps/nm²/km以下0ps/nm²/km以上とすれば、広帯域の光信号を伝送した際の波形歪みを抑制することができるため、短パルス光の伝送に適した光ファイバを実現することが可能となる。

【0063】

(第2実施形態)

次に、本発明の第2実施形態について説明する。なお、上記した第1実施形態で説明した要素と同一の要素には同一の符号を附し、重複する説明を省略する。

【0064】

本実施形態に係る光ファイバ10では、媒質及び空孔の配列については、上記した第1実施形態と同様であるが、各部の寸法が異なる。

【0065】

これら空孔28～34のサイズ及びピッチは所望の値に調整されており、コア領域12の平均屈折率を $n[0]$ とし、クラッド領域14が含む第k領域16～22の平均屈折率を $n[k]$ ($k = 1, 2, 3, 4$) としたとき、

$$n[i] > n[i+1] \quad (\forall i = 0, 1, 2, 3) \quad \dots \quad (5)$$

の関係を満たしている。

【0066】

上記した構造の光ファイバ10において、空孔28～34の直径 $d_1 \sim d_4$ のピッチ Λ に対する比の一例を挙げると、例えば $d_1/\Lambda = 0.30625$ 、 $d_2/\Lambda = 0.44125$ 、 $d_3/\Lambda = 0.5375$ 、 $d_4/\Lambda = 0.9375$ である。なお、第5領域24の空孔36については、 d_5/Λ は 0.9375 とされている。従って、シリカガラス及び空気の屈折率をそれぞれ 1.444 及び 1 とすると、コア領域12の平均屈折率 $n[0]$ は 1.444 となり、第1～第4領域16～22の平均屈折率は、それぞれ $n[1] = 1.4117$ 、 $n[2] = 1.3761$ 、 $n[3] = 1.3419$ 、 $n[4] = 1.1046$ となり、上記(5)式を満たす。なお、第5領域24の平均屈折率 $n[5]$ は、 1.1046 であり、外周領域26の平均屈折率は 1.444 である。

【0067】

図7は、空孔のピッチ Λ をそれぞれ 1.595 μm 、 1.73 μm 、 1.495 μm としたときの、3種類の光ファイバ（それぞれ、光ファイバ10A、10B、10Cとする。）についての波長分散特性を示すグラフである。

【0068】

光ファイバ10A（図7中、丸で示す）は、波長 1.26 μm ～1.66 μm で波長分散が -0.44 ps/nm/km ～ $+0.53 \text{ ps/nm/km}$ であり、ゼロ分散での分散非平坦度は $0.0024 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ である。このように、50 nm 以上 1000 nm 以下の幅の所定波長帯域において、ゼロ分散での分散非平坦度が $0.003 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 以下 $0 \text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 以上とす

れば、広帯域の光信号を伝送した際の波形歪みを抑制することができるため、短パルス光の伝送に適した光ファイバを実現することが可能となる。

【0069】

また光ファイバ10B（図7中、四角で示す）は、波長1.26μm～1.66μmで波長分散が+7.62ps/nm/km～+9.00ps/nm/kmであり、分散非平坦度は0.0034ps/nm²/kmである。さらに、波長1.4μm～1.7μmで波長分散が+8.74ps/nm/km～+9.00ps/nm/kmであり、分散非平坦度は0.00088ps/nm²/kmである。このように、50nm以上1000nm以下の幅の所定波長帯域において、分散非平坦度が0.004ps/nm²/km以下0ps/nm²/km以上であり、所定波長帯域における波長分散の平均値が+20ps/nm/km以下0ps/nm/km以上の異常分散とすれば、広帯域のソリトン伝送や、広帯域の波長多重伝送（WDM伝送）、広帯域のスーパーコンティニューム光発生に適した光ファイバを実現することが可能となる。

【0070】

また光ファイバ10C（図7中、三角で示す）は、波長1.26μm～1.66μmで波長分散が-7.90ps/nm/km～-5.67ps/nm/kmであり、分散非平坦度は0.0056ps/nm²/kmである。さらに、波長1.28μm～1.6μmで波長分散が-7.78ps/nm/km～-6.50ps/nm/kmであり、分散非平坦度は0.0040ps/nm²/kmである。このように、50nm以上1000nm以下の幅の所定波長帯域において、分散非平坦度が0.006ps/nm²/km以下0ps/nm²/km以上であり、所定波長帯域における波長分散の平均値が-20ps/nm/km以上0ps/nm/km以下の正常分散とすれば、広帯域のWDM伝送や、広帯域のスーパーコンティニューム光発生に適した光ファイバを実現することが可能となる。

【0071】

また図8に示すように、これらの光ファイバ10A～10C（図8中、それぞれ丸、四角、三角で示す）は、1.2μm～1.7μmの波長帯域で実効コア断面積が6μm²～12μm²であり、スーパーコンティニューム光発生などの非線

形光学効果の応用に適している。

【0072】

(第3実施形態)

次に、本発明の第3実施形態について説明する。なお、上記した第1及び第2実施形態で説明した要素と同一の要素には同一の符号を附し、重複する説明を省略する。

【0073】

上記した第1及び第2実施形態では、ファイバ軸Xに沿う方向について单一構造を有する光ファイバ10について説明した。これに対し、本実施形態に係る光ファイバ60は、図9に示すように、第1種ファイバ区間62と、第2種ファイバ区間64と、これら第1種及び第2種ファイバ区間62, 64を繋ぐ遷移区間66とを備えている。第1種ファイバ区間62では、50nm以上1000nm以下の幅の所定波長帯域において分散非平坦度が0.007ps/nm²/km以下0ps/nm²/km以上であり、当該所定波長帯域における波長分散の平均値が+1ps/nm/km以上+30ps/nm/km以下の異常分散である。また、第2種ファイバ区間64では、当該所定波長帯域において分散非平坦度が0.007ps/nm²/km以下0ps/nm²/km以上であり、当該所定波長帯域における波長分散の平均値が-1ps/nm/km以下-30ps/nm/km以上の正常分散である。

【0074】

このような第1種ファイバ区間62には、上記第2実施形態で説明した光ファイバ10Bを用いることができる。また第2種ファイバ区間64には、上記第2実施形態で説明した光ファイバ10Cを用いることができる。

【0075】

遷移区間66では、ファイバの断面構造は、実質的に相似形を保ったまま、第1種ファイバ区間62と第2種ファイバ区間64との間でファイバ軸Xに沿って連続的に変化している。

【0076】

このような第1種ファイバ区間62、遷移区間66、第2種ファイバ区間64

、及び遷移区間66を単位区間とし、この単位区間がファイバ軸Xに沿って複数並ぶようにファイバを構成してもよい。この場合、第1種ファイバ区間62の長さL1と第2種ファイバ区間64の長さL2とは、 $L_1 : L_2 = 6.8 : 8.3$ を満たすようにすると好ましい。典型的なL1及びL2は、500m～50kmである。

【0077】

この光ファイバ60では、1.26μm～1.66μmの波長帯域での波長分散の平均値が-0.91ps/nm/km～+0.84ps/nm/kmとなり、ゼロ分散での分散非平坦度は0.0044ps/nm²/kmとなる。

【0078】

このように本実施形態に係る光ファイバ60によれば、WDM伝送やソリトン伝送において、非線形光学効果と波長分散によって生じる伝送品質劣化を、広帯域に渡って抑制することが可能な分散マネジメントファイバを実現することが可能となる。

【0079】

(第4実施形態)

次に、本発明の第4実施形態について説明する。なお、上記した第1～第3実施形態で説明した要素と同一の要素には同一の符号を附し、重複する説明を省略する。

【0080】

上記した第1及び第2実施形態では、ファイバ軸Xに沿う方向について单一構造を有する光ファイバ10について説明し、第3実施形態では、2種の構造を有する光ファイバ60について説明した。これに対し、本実施形態に係る光ファイバ70は、図10に示すように、光ファイバ70の一端72から他端74へとファイバ軸Xに沿って断面構造が連続的に変化している。

【0081】

この光ファイバ70では、50nm以上1000nm以下の幅の所定波長帯域において分散非平坦度が0.007ps/nm²/km以下0ps/nm²/km以上であり、一端72での当該所定波長における波長分散が+1ps/nm/k

m以上 + 30 ps/nm/km以下の異常分散である。そして、一端72から他端74に向かって波長分散が連続的に低下し、他端74における波長分散は一端72における波長分散の半値以下である。この一端72におけるファイバ構造としては、上記第2実施形態で説明した光ファイバ10Bの断面構造を用いることができ、他端74でのファイバ構造としては、上記第2実施形態で説明した光ファイバ10Aの断面構造を用いることができる。

【0082】

この光ファイバ70では、1.26 μm～1.66 μmでの波長分散がおよそ8 ps/nm/kmから0 ps/nm/kmに変化する。

【0083】

このように本実施形態に係る光ファイバ70によれば、広帯域かつ高コヒーレンスのスーパーコンティニューム光の発生に適した分散減少光ファイバを実現することが可能となる。

【0084】

(第5実施形態)

次に、本発明の第5実施形態について説明する。なお、上記した第1～第4実施形態で説明した要素と同一の要素には同一の符号を附し、重複する説明を省略する。

【0085】

本実施形態に係る光ファイバ10D～10Fでは、媒質及び空孔の配列については、上記した第1実施形態と同様であるが、各部の寸法が異なる。

【0086】

これら空孔28～34のサイズ及びピッチは所望の値に調整されており、コア領域12の平均屈折率をn[0]とし、クラッド領域14が含む第k領域16～22の平均屈折率をn[k] (k=1, 2, 3, 4)としたとき、光ファイバ10Dは、

$$n[i] > n[i+1] \quad (\forall i = 0, 1, 2, 3) \quad \dots \quad (6)$$

の関係を満たしている。また光ファイバ10E, 10Fは、

$$n[0] > n[1], \text{かつ } n[1] < n[2], \text{かつ } n[i] > n[i+1]$$

1] $(\forall i = 2, 3) \dots (7)$

の関係を満たしている。

【0087】

上記した構造の光ファイバ10D～10Fにおいて、空孔28～34の直径d₁～d₄のピッチΛに対する比の一例を挙げると、例えば光ファイバ10Dでは、 $d_1/\Lambda = 0.42$ 、 $d_2/\Lambda = 0.43$ 、 $d_3/\Lambda = 0.63$ 、 $d_4/\Lambda = 0.95$ である。従って、シリカガラス及び空気の屈折率をそれぞれ1.444及び1.444とすると、コア領域12の平均屈折率n[0]は1.444となり、第1～第4領域16～22の平均屈折率は、それぞれn[1]=1.3826、n[2]=1.3796、n[3]=1.3017、n[4]=1.0941となり、上記(6)式を満たす。

【0088】

また、例えば光ファイバ10Eでは、 $d_1/\Lambda = 0.50$ 、 $d_2/\Lambda = 0.40$ 、 $d_3/\Lambda = 0.60$ 、 $d_4/\Lambda = 0.95$ である。従って、n[0]=1.444、n[1]=1.3561、n[2]=1.3884、n[3]=1.3156、n[4]=1.0941となり、上記(7)式を満たす。

【0089】

また、例えば光ファイバ10Fでは、 $d_1/\Lambda = 0.60$ 、 $d_2/\Lambda = 0.41$ 、 $d_3/\Lambda = 0.60$ 、 $d_4/\Lambda = 0.95$ である。従って、n[0]=1.444、n[1]=1.3156、n[2]=1.3855、n[3]=1.3156、n[4]=1.0941となり、上記(7)式を満たす。なお、光ファイバ10D～10Fのいずれも、第5領域24の平均屈折率n[5]はn[4]に等しく、外周領域26の平均屈折率は1.444である。

【0090】

図11は、空孔のピッチΛを1.5μmとした光ファイバ10Dと、

$$F(\lambda) = a\lambda^{-4} + b\lambda^{-2} + c + d\lambda^2 + e\lambda^4$$

$$a = -24.495 \text{ [ps/nm/km/} \mu\text{m}^{-4}]$$

$$b = -54.564 \text{ [ps/nm/km/} \mu\text{m}^{-2}]$$

$$c = 35.069 \text{ [ps/nm/km]}$$

$$d = 1.8867 \text{ [ps/nm/km/} \mu \text{m}^2]$$

$$e = 0.80887 \text{ [ps/nm/km/} \mu \text{m}^4] \quad \dots \quad (8)$$

なる式によって表される波長分散 $F(\lambda)$ を有する単一モード光ファイバを、長さの比が $x : 1$ となるように組み合わせて伝送路を構成した場合の、伝送路全体で平均した波長分散を示すグラフである。伝送路全体で平均した波長分散 $G(\lambda, x)$ は、次の (9) 式で与えられる。

【0091】

$$G(\lambda, x) = |(F(\lambda) + x D(\lambda)) / (1 + x)| \quad \dots \quad (9)$$

ここでは、 x が 0.544 となるように選ばれている。

【0092】

光ファイバ10Dは、単一モード光ファイバと長さの比が $1 : 0.544$ となるように組み合わされて伝送路を構成することによって、波長 $1.38 \mu\text{m} \sim 1.66 \mu\text{m}$ で伝送路の平均波長分散の絶対値を 0.25 ps/nm/km より小さくすることができる。このように、 250 nm 以上 1000 nm 以下の幅の所定波長帯域において、上記 (8) 式で表される波長分散を有する単一モード光ファイバと所定の長さ比率で組み合わせたとき、伝送路全体での平均波長分散の絶対値を 0.25 ps/nm/km より小さく 0 ps/nm/km 以上とすることができるため、広帯域での分散補償に適した光ファイバを実現することが可能となる。

【0093】

図12は、空孔のピッチ Δ を $1.47 \mu\text{m}$ とした光ファイバ10Eと、上記 (8) 式によって波長分散が表される単一モード光ファイバとを、長さの比が $x : 1$ となるように組み合わせて伝送路を構成した場合の、伝送路全体で平均した波長分散を示すグラフである。ここでは、 x が 0.2316 となるように選ばれている。

【0094】

光ファイバ10Eは、単一モード光ファイバと長さの比が $1 : 0.2316$ となるように組み合わされて伝送路を構成することによって、波長 $1.38 \mu\text{m} \sim 1.68 \mu\text{m}$ で伝送路の平均波長分散の絶対値を 0.25 ps/nm/km より

小さくすることができる。このように、250 nm以上1000 nm以下の幅の所定波長帯域において、上記（8）式で表される波長分散を有する単一モード光ファイバと所定の長さ比率で組み合わせたとき、伝送路全体での平均波長分散の絶対値を0.25 ps/nm/kmより小さく0 ps/nm/km以上とすることができるため、広帯域での分散補償に適した光ファイバを実現することが可能となる。

【0095】

図13は、空孔のピッチΛを1.375 μmとした光ファイバ10Fと、上記（8）式によって波長分散が表される単一モード光ファイバとを、長さの比がx:1となるように組み合わせて伝送路を構成した場合の、伝送路全体で平均した波長分散を示すグラフである。ここでは、xが0.096となるように選ばれている。

【0096】

光ファイバ10Fは、単一モード光ファイバと長さの比が1:0.096となるように組み合わされて伝送路を構成することによって、波長1.38 μm～1.64 μmで伝送路の平均波長分散の絶対値を0.25 ps/nm/kmより小さくすることができる。このように、250 nm以上1000 nm以下の幅の所定波長帯域において、上記（8）式で表される波長分散を有する単一モード光ファイバと所定の長さ比率で組み合わせたとき、伝送路全体での平均波長分散の絶対値を0.25 ps/nm/kmより小さく0 ps/nm/km以上とすることができるため、広帯域での分散補償に適した光ファイバを実現することが可能となる。

【0097】

（第6実施形態）

次に、本発明の第6実施形態について説明する。なお、上記した第1～第5実施形態で説明した要素と同一の要素には同一の符号を附し、重複する説明を省略する。

【0098】

本実施形態に係る光ファイバ11は、図14に示すように、上記した第2実施

形態に係る光ファイバ10と比較して（図2参照）、クラッド領域14を構成する第5領域24を含まない点以外は、第2実施形態に係る光ファイバ10と同様の構成を備えている。

【0099】

従って、コア領域12の平均屈折率をn[0]とし、クラッド領域14が含む第k領域16～22の平均屈折率をn[k]（k=1, 2, 3, 4）としたとき、上記（5）式の関係を満たしている。

【0100】

そして、このような構造の光ファイバ11において、空孔28～34の直径d₁～d₄のピッチΛに対する比の一例を挙げると、例えばd₁/Λ=0.30625、d₂/Λ=0.44125、d₃/Λ=0.5375、d₄/Λ=0.9375である。従って、シリカガラス及び空気の屈折率をそれぞれ1.444及び1.444とすると、コア領域12の平均屈折率n[0]は1.444となり、第1～第4領域16～22の平均屈折率は、それぞれn[1]=1.4117、n[2]=1.3761、n[3]=1.3419、n[4]=1.1046となり、上記（5）式を満たす。なお、外周領域26の平均屈折率は1.444である。

【0101】

ここで、クラッド領域14の最外領域による光の閉じ込めは、当該最外領域とコア領域12との間の平均屈折率の差が大きく、且つ当該最外領域の径方向の厚さTが大きいほど強くなる。

【0102】

従って、クラッド領域14において最も外側に位置する第（N+1）領域の径方向の厚さをT[N+1] μmとし、クラッド領域14による光閉じ込めの強さを、以下のパラメータCで評価する。

【0103】

【数4】

$$C = T[N+1] \cdot \sqrt{n[0]^2 - n[N+1]^2} \quad \dots \quad (10)$$

上記（10）式において、n[0]及びn[N+1]は、それぞれコア領域1

2 及び第 (N+1) 領域の平均屈折率である。このとき、本実施形態に係る光ファイバ11は、

$$C > 1.0$$

の関係を満たしている。すなわち、本実施形態では、クラッド領域14の最外層が第4領域22であるため、

【0104】

【数5】

$$C = T[4] \cdot \sqrt{n[0]^2 - n[4]^2} > 1.0$$

の関係を満たしている。従って、クラッド領域14により光を十分に閉じ込めることができ、光の閉じ込め損失を低減することができる。その結果、伝送損失を低減することが可能となる。

【0105】

図15は、空孔のピッチ Δ をそれぞれ1.595 μm 、1.73 μm 、1.495 μm としたときの、3種類の光ファイバ（それぞれ、光ファイバ11A、11B、11Cとする。）についての閉じ込め損失を示すグラフである。光ファイバ11A～11Cは、第5領域24を有しないこと以外は、上記第2実施形態で説明した光ファイバ10A～10Cと同様の構成であり、波長分散特性も同様である。

【0106】

光ファイバ11Aにおいては、クラッド領域14の最外領域は第4領域22であり、その厚さは空孔のピッチ Δ に等しく、径方向の厚さ $T[4]$ は1.595 μm である。ここで、 $n[0]$ は1.444であり、また $n[4]$ は1.1046であるため、光閉じ込めの強さを示すパラメータ C は1.48となり、上記（10）式を満たしている。

【0107】

そして、図15に示すように、この光ファイバ11A（図15中、丸で示す）では、波長帯域1.26 μm ～1.66 μm において、光の閉じ込め損失が $3.3 \times 10^{-5} \text{dB/m}$ ～ $9.0 \times 10^{-3} \text{dB/m}$ と低いことが分かる。その結果、

当該波長帯域において、0.1 dB/m以下の伝送損失を実現することが可能となる。

【0108】

また、光ファイバ11Bにおいては、クラッド領域14の最外領域は第4領域22であり、その厚さは空孔のピッチΛに等しく、径方向の厚さT[4]は1.73 μmである。従って、光閉じ込めの強さを示すパラメータCは1.61となり、上記(10)式を満たしている。

【0109】

そして、図15に示すように、この光ファイバ11B(図15中、三角で示す)では、波長帯域1.26 μm～1.66 μmにおいて、光の閉じ込め損失が 5.3×10^{-6} dB/m～ 1.8×10^{-3} dB/mと低いことが分かる。その結果、当該波長帯域において、0.1 dB/m以下の伝送損失を実現することが可能となる。

【0110】

また、光ファイバ11Cにおいては、クラッド領域14の最外領域は第4領域22であり、その厚さは空孔のピッチΛに等しく、径方向の厚さT[4]は1.495 μmである。従って、光閉じ込めの強さを示すパラメータCは1.39となり、上記(10)式を満たしている。

【0111】

そして、図15に示すように、この光ファイバ11C(図15中、四角で示す)では、波長帯域1.26 μm～1.66 μmにおいて、光の閉じ込め損失が 1.4×10^{-4} dB/m～ 3.1×10^{-2} dB/mと低いことが分かる。その結果、当該波長帯域において、0.1 dB/m以下の伝送損失を実現することが可能となる。

【0112】

(第7実施形態)

次に、本発明の第7実施形態について説明する。なお、上記した第1～第6実施形態で説明した要素と同一の要素には同一の符号を附し、重複する説明を省略する。

【0113】

本実施形態に係る光ファイバ11D～11Fは、クラッド領域14を構成する第5領域24を含まない点以外は、それぞれ第5実施形態で説明した光ファイバ10D～10Fと同様の構成を備えている。

【0114】

そして、本実施形態に係る光ファイバ11D～11Fにおいても、上記第6実施形態において説明したのと同様に、

$$C > 1.0$$

の関係を満たしている。すなわち、本実施形態では、クラッド領域14の最外領域が第4領域22であり、

【0115】

【数6】

$$C = T[4] \cdot \sqrt{n[0]^2 - n[4]^2} > 1.0 \dots \quad (11)$$

の関係を満たしている。従って、クラッド領域14により光を十分に閉じ込めることができ、光の閉じ込め損失を低減することができる。その結果、伝送損失を低減することが可能となる。

【0116】

光ファイバ11Dにおいては、クラッド領域14の最外領域は第4領域22であり、その厚さは空孔のピッチ Δ に等しく、径方向の厚さ $T[4]$ は $1.5 \mu m$ である。ここで、 $n[0]$ は 1.444 であり、また $n[4]$ は 1.1046 であるため、光閉じ込めの強さを示すパラメータ C は 1.41 となり、上記(11)式を満たしている。

【0117】

また図16に示すように、光ファイバ11Dでは、波長帯域 $1.38 \mu m \sim 1.66 \mu m$ において、光の閉じ込め損失が $3.5 \times 10^{-4} dB/m \sim 1.9 \times 10^{-2} dB/m$ と低いことが分かる。その結果、当該波長帯域において、 $0.1 dB/m$ 以下の伝送損失を実現することが可能となる。

【0118】

また、光ファイバ11Eにおいては、クラッド領域14の最外領域は第4領域22であり、その厚さは空孔のピッチ Λ に等しく、径方向の厚さ T [4] は $1.47 \mu\text{m}$ である。従って、光閉じ込めの強さを示すパラメータCは 1.39 となり、上記（11）式を満たしている。

【0119】

また図17に示すように、光ファイバ11Eでは、波長帯域 $1.38 \mu\text{m} \sim 1.68 \mu\text{m}$ において、光の閉じ込め損失が $2.1 \times 10^{-3} \text{dB/m} \sim 1.5 \times 10^{-1} \text{dB/m}$ と低いことが分かる。その結果、当該波長帯域において、 1.0dB/m 以下の伝送損失を実現することが可能となる。

【0120】

また、光ファイバ11Fにおいては、クラッド領域14の最外領域は第4領域22であり、その厚さは空孔のピッチ Λ に等しく、径方向の厚さ T [4] は $1.375 \mu\text{m}$ である。従って、光閉じ込めの強さを示すパラメータCは 1.30 となり、上記（11）式を満たしている。

【0121】

また図18に示すように、光ファイバ11Fでは、波長帯域 $1.38 \mu\text{m} \sim 1.64 \mu\text{m}$ において、光の閉じ込め損失が $1.8 \times 10^{-2} \text{dB/m} \sim 1.0 \text{dB/m}$ と低いことが分かる。その結果、当該波長帯域において、 3.0dB/m 以下の伝送損失を実現することが可能となる。

【0122】

なお、本発明は上記した実施形態に限定されることなく、種々の変形が可能である。

【0123】

上記した第1実施形態では、クラッド領域14は上記（1）式を満たす領域として第1～第3領域16～20の3層構造について説明したが、（1）式を満たす領域を4層以上設けてもよい。

【0124】

また上記した第4実施形態において、図10に示すようなファイバ区間を含み、一端72及び他端74における断面構造と連続するような断面構造を有する任

意の光ファイバをこれら両端にそれぞれ融着接続して、光ファイバを構成してもよい。

【0125】

また、コア領域が副媒質からなる領域を含む構成も可能である。

【0126】

【発明の効果】

本発明によれば、波長分散の調整の自由度及び調整可能な波長範囲の増大を図ることが可能な光ファイバが提供される。

【図面の簡単な説明】

【図1】

実施形態に係る光ファイバを側方から見た図である。

【図2】

第1～第5実施形態に係る光ファイバについて、光ファイバをファイバ軸（所定軸）Xに垂直な断面で切った断面を示す断面図である。

【図3】

第1実施形態に係る光ファイバの波長分散特性の一例を示すグラフである。

【図4】

実施形態に係る光ファイバの製造方法を説明するための図である。

【図5】

実施形態に係る光ファイバの製造方法を説明するための図である。

【図6】

実施形態に係る光ファイバの他の製造方法を説明するための図である。

【図7】

第2実施形態に係る光ファイバの波長分散特性の三つの例を示すグラフである。

。

【図8】

図7に示す三つの光ファイバの実効コア断面積の波長依存性を示すグラフである。

【図9】

第3実施形態に係る光ファイバの構造を模式的に示す図である。

【図10】

第4実施形態に係る光ファイバの構造を模式的に示す図である。

【図11】

第5実施形態に係る光ファイバを含む伝送路の波長分散特性の一例を示すグラフである。

【図12】

第5実施形態に係る光ファイバを含む伝送路の波長分散特性の一例を示すグラフである。

【図13】

第5実施形態に係る光ファイバを含む伝送路の波長分散特性の一例を示すグラフである。

【図14】

第6～第7実施形態に係る光ファイバについて、光ファイバをファイバ軸（所定軸）Xに垂直な断面で切った断面図である。

【図15】

第6実施形態に係る光ファイバの閉じ込め損失の三つの例を示すグラフである。

【図16】

第7実施形態に係る光ファイバの閉じ込め損失の一例を示すグラフである。

【図17】

第7実施形態に係る光ファイバの閉じ込め損失の他の一例を示すグラフである。

【図18】

第7実施形態に係る光ファイバの閉じ込め損失の他の一例を示すグラフである。

【符号の説明】

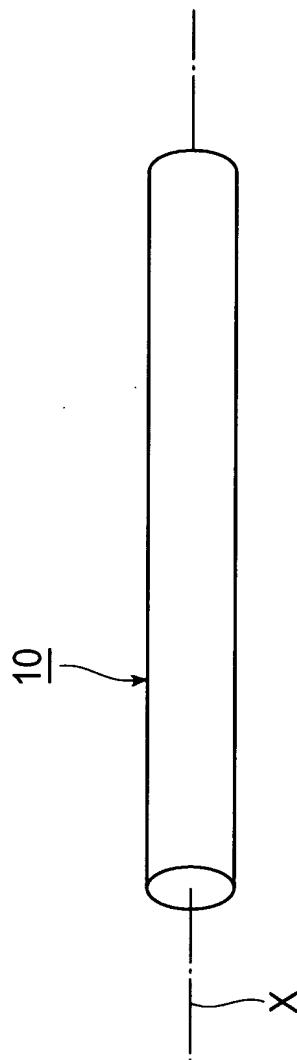
10, 10A～C, 60, 70…光ファイバ、12…コア領域、14…クラッド領域、16～26…第1～第5領域、28～36…空孔、62…第1種ファイ

バ区間、64…第2種ファイバ区間、66…遷移区間、72…一端、74…他端、X…ファイバ軸。

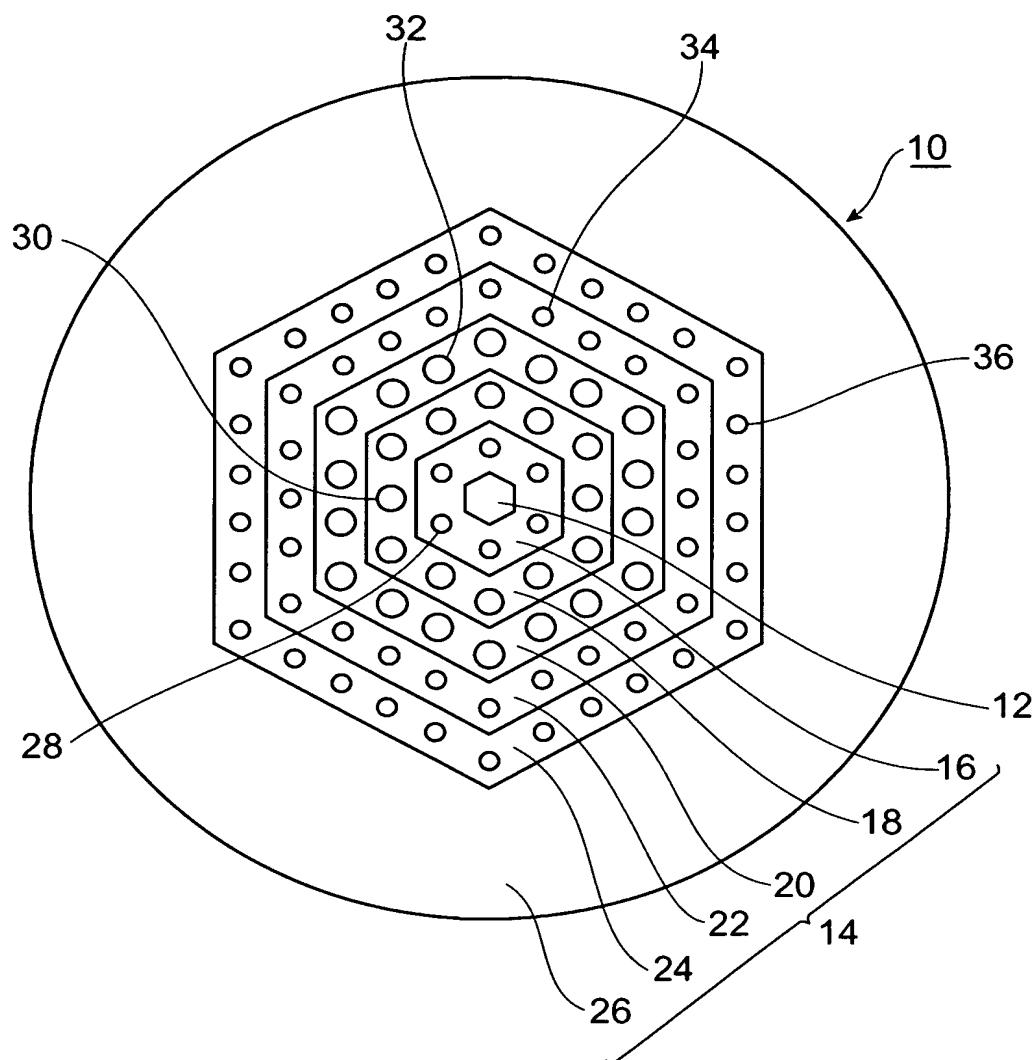
【書類名】

図面

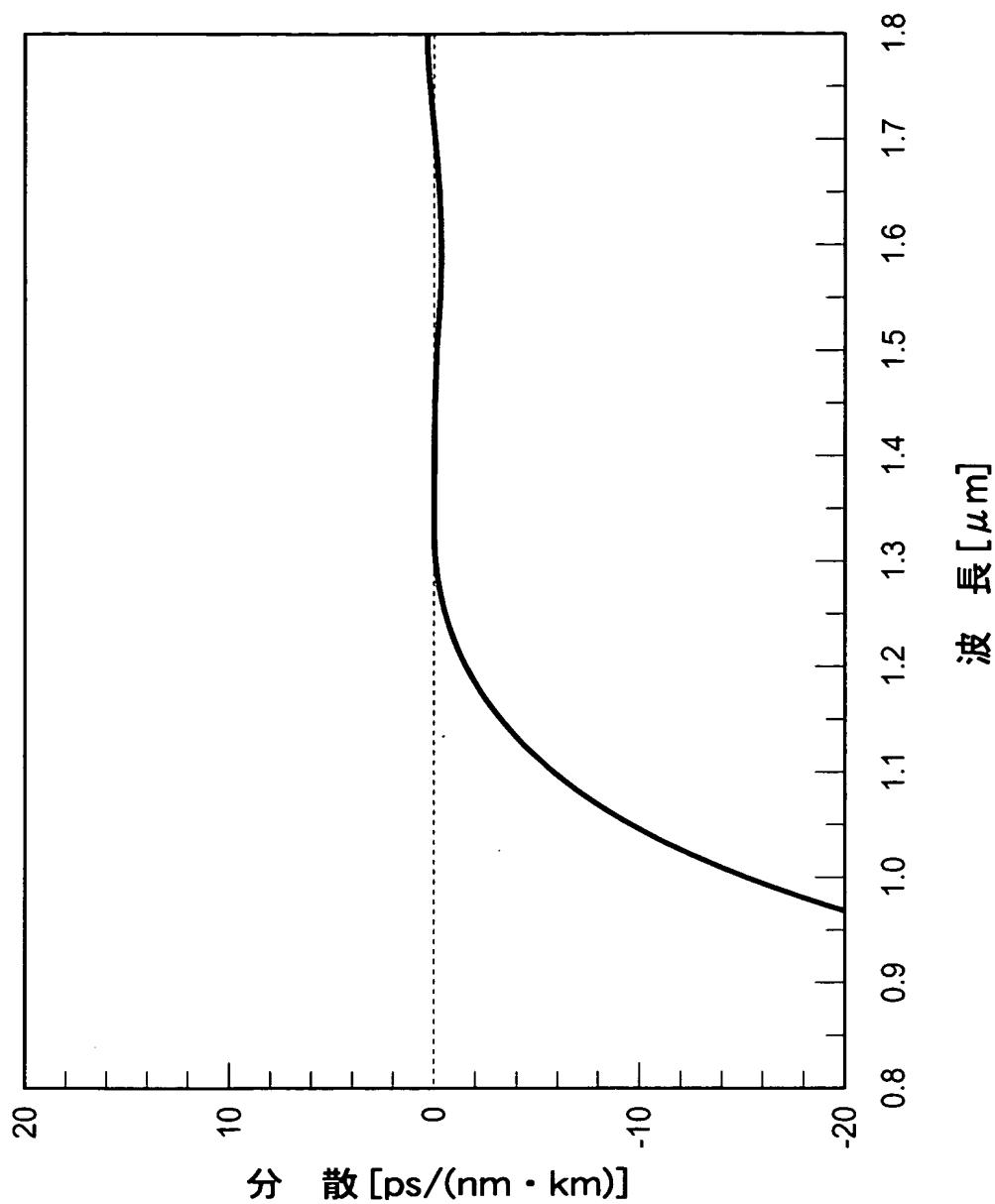
【図1】



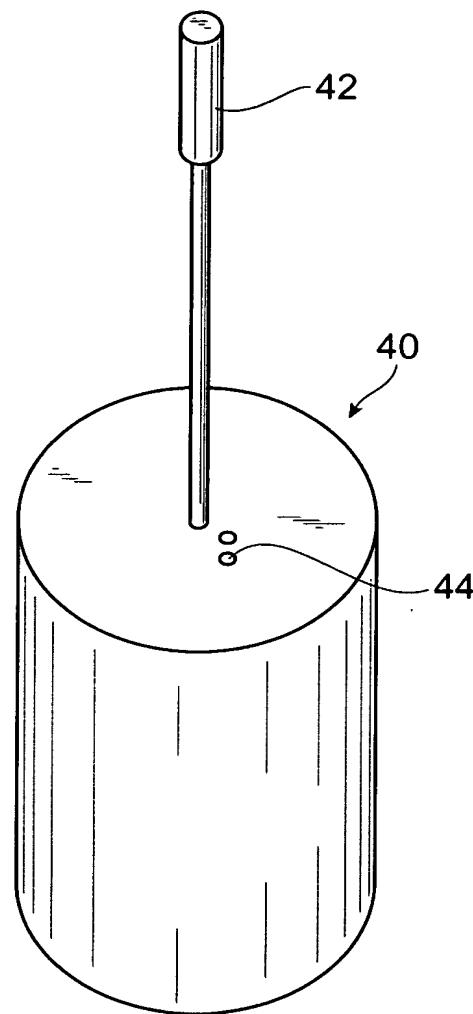
【図2】



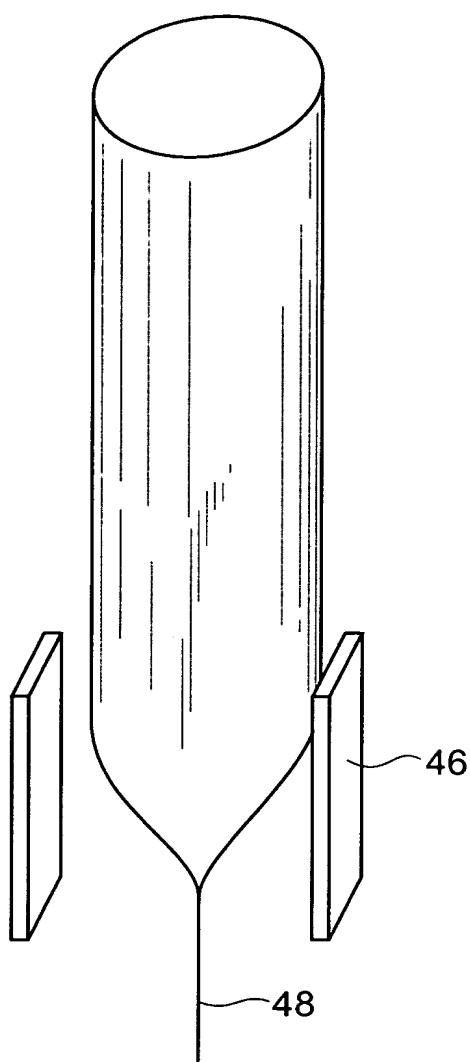
【図3】



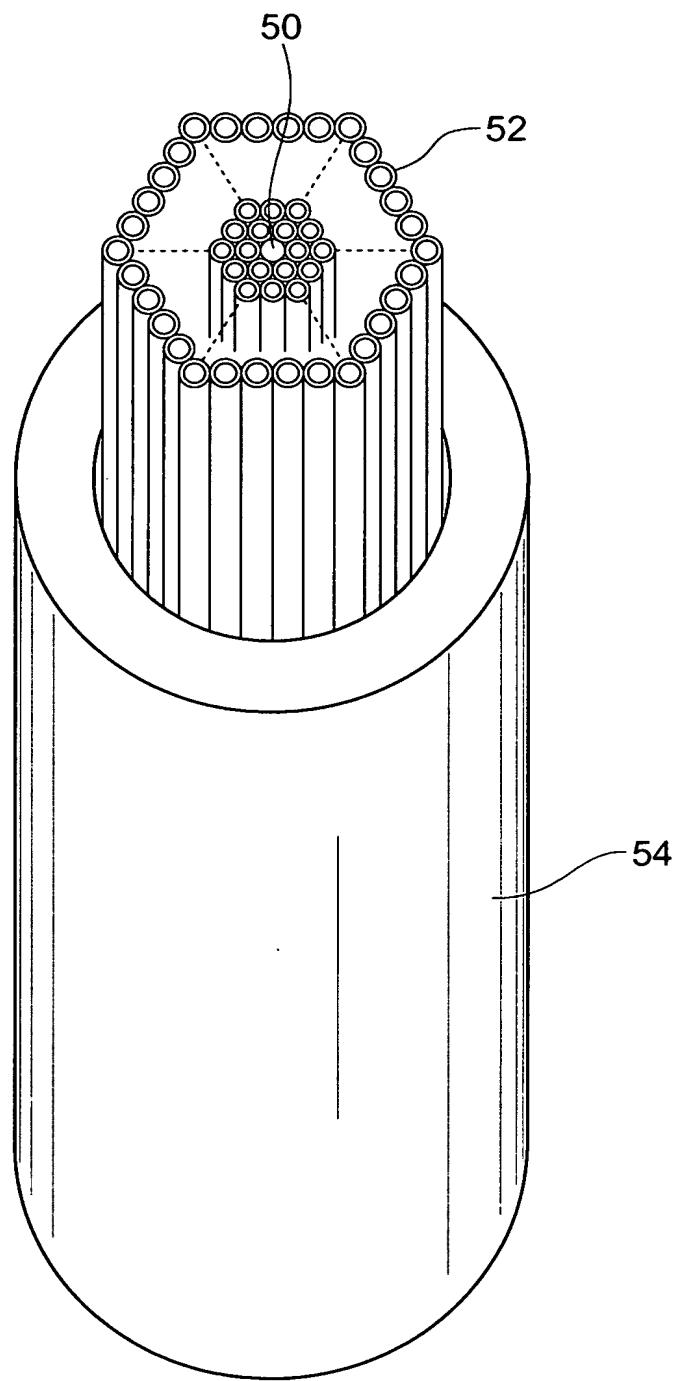
【図4】



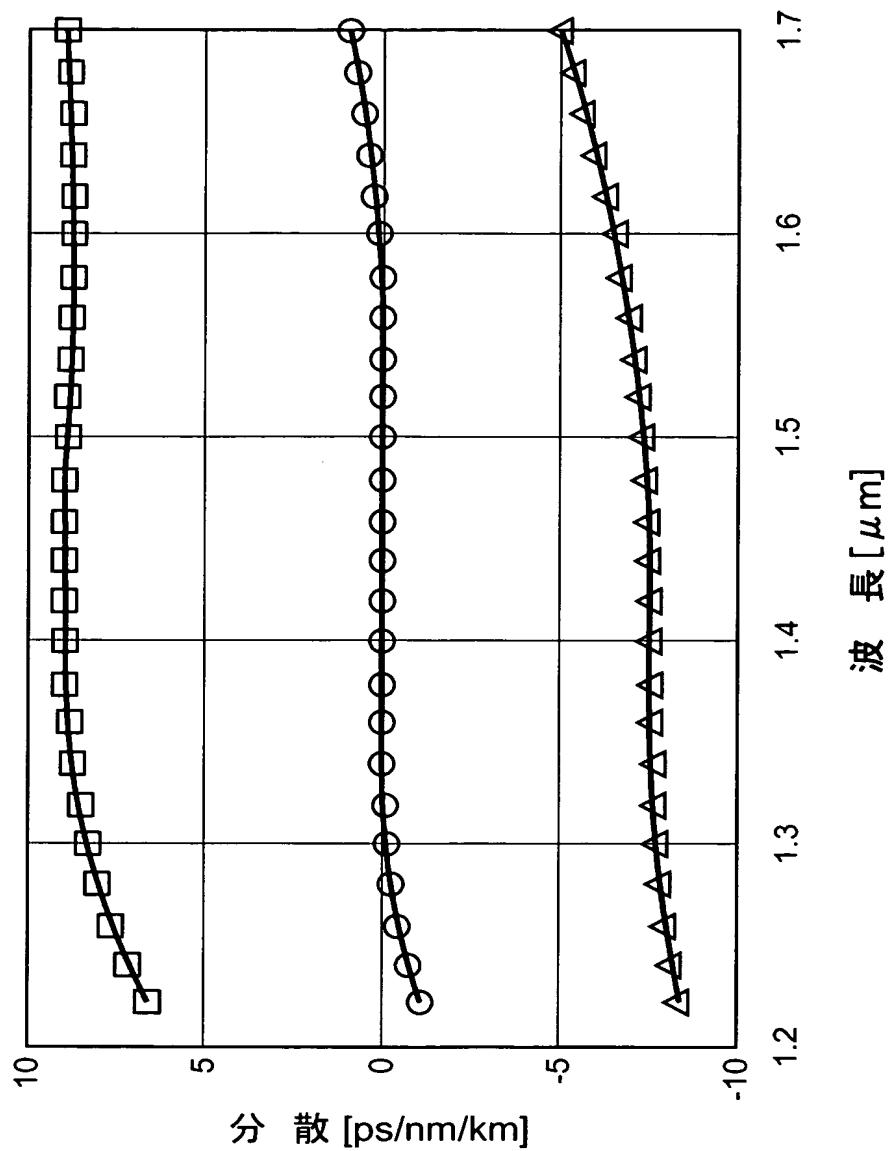
【図5】



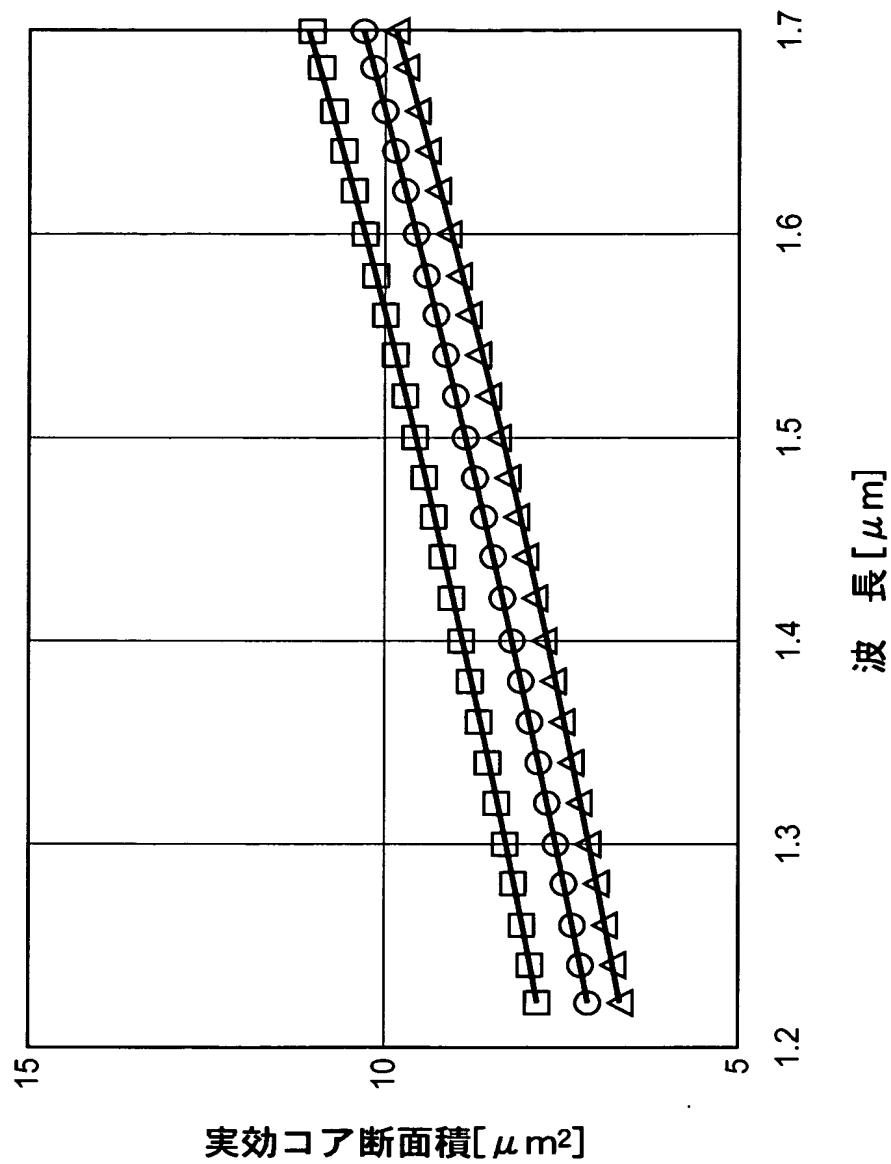
【図6】



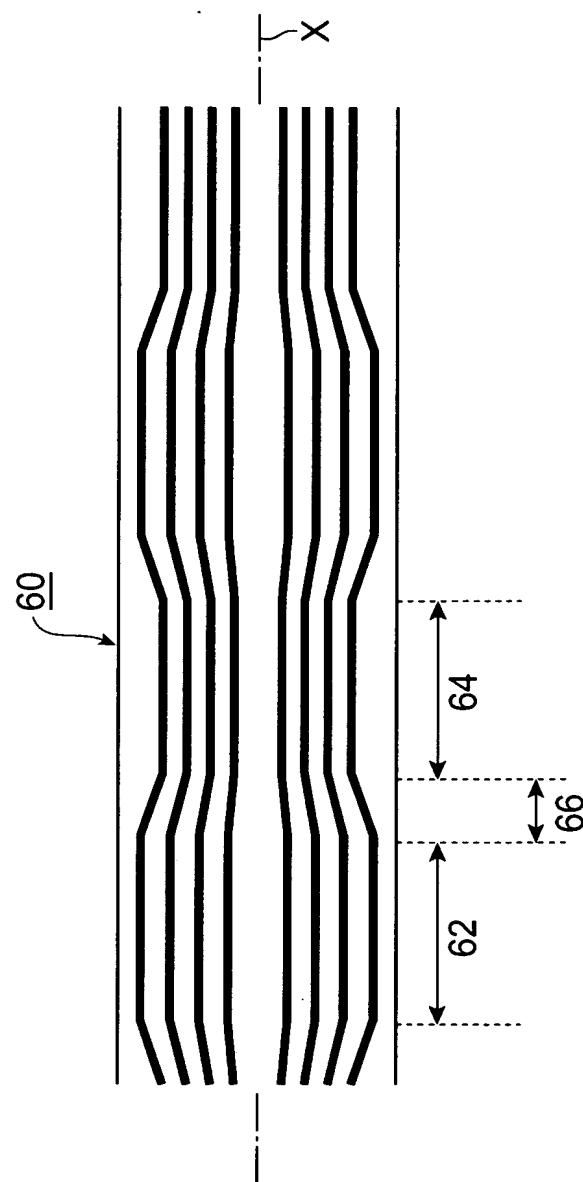
【図7】



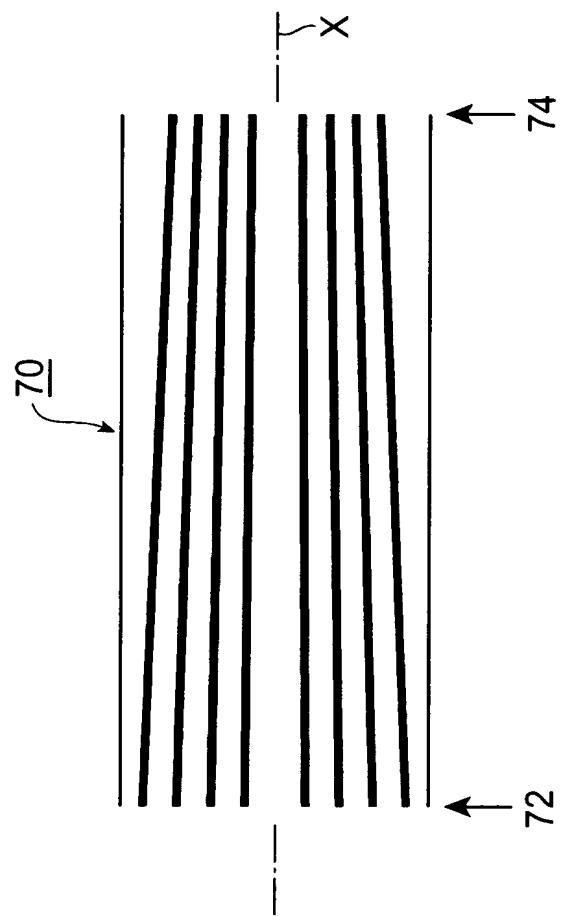
【図8】



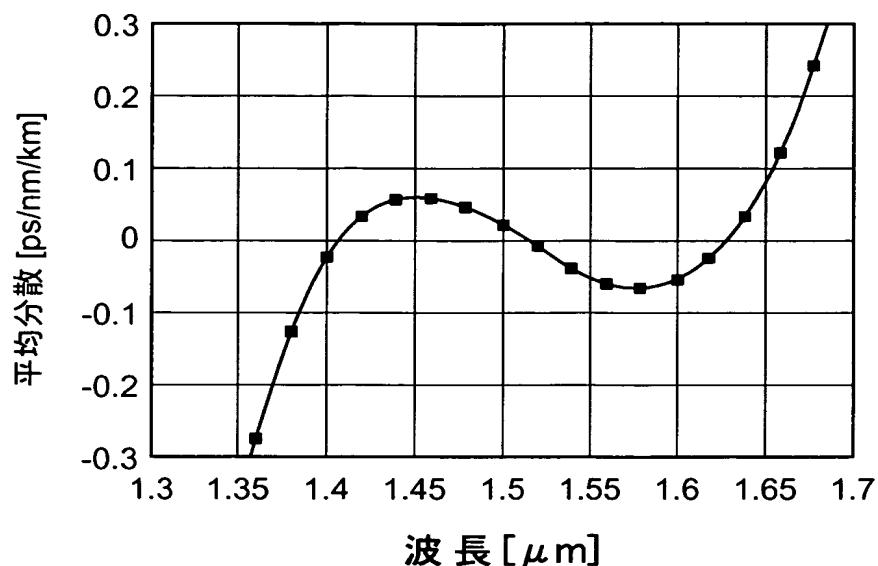
【図9】



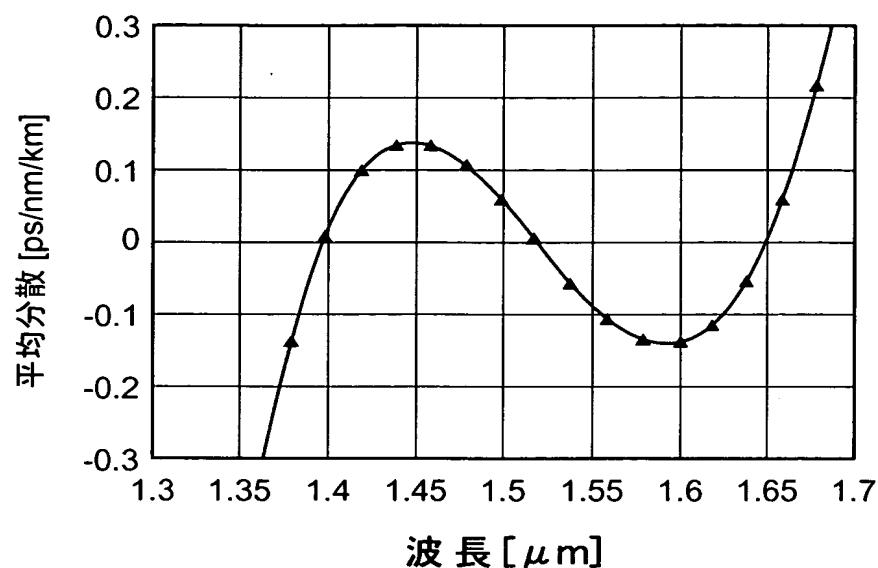
【図10】



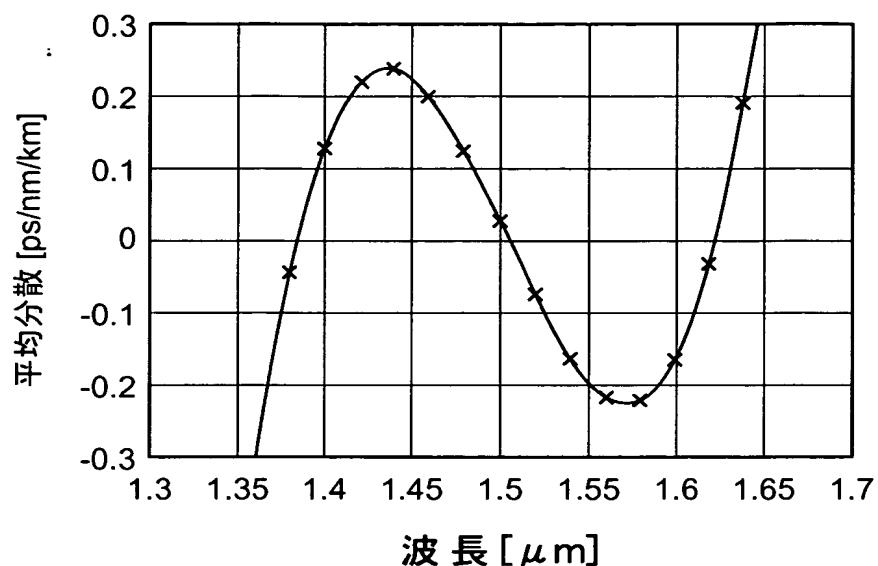
【図11】



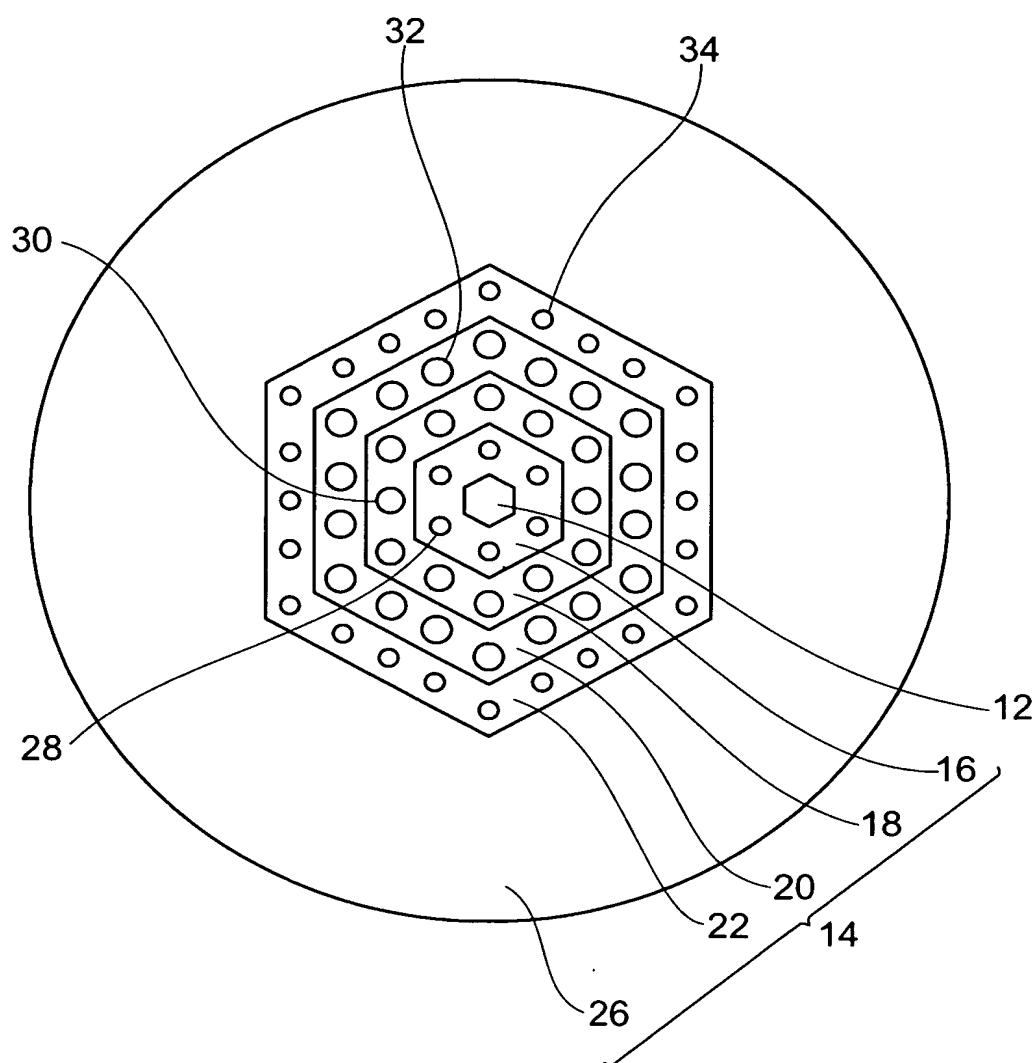
【図12】



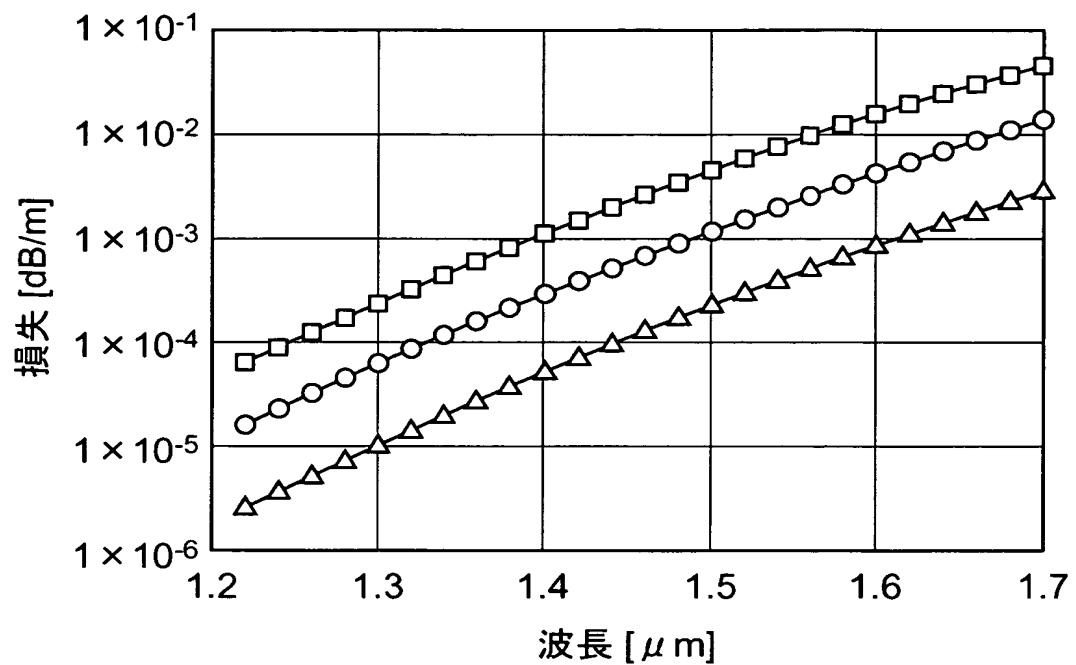
【図13】



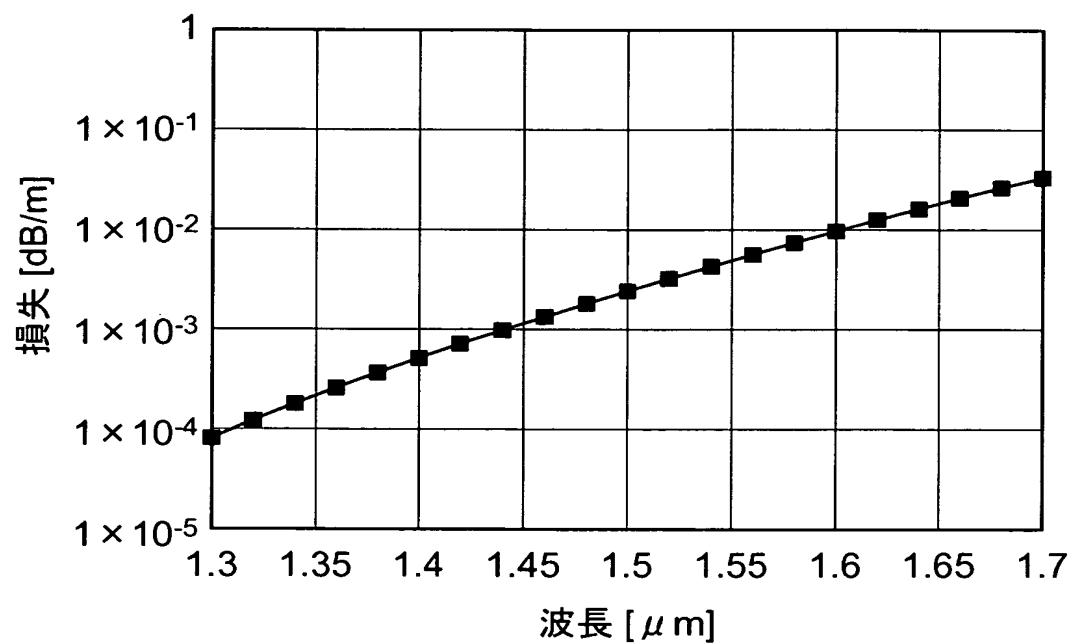
【図14】



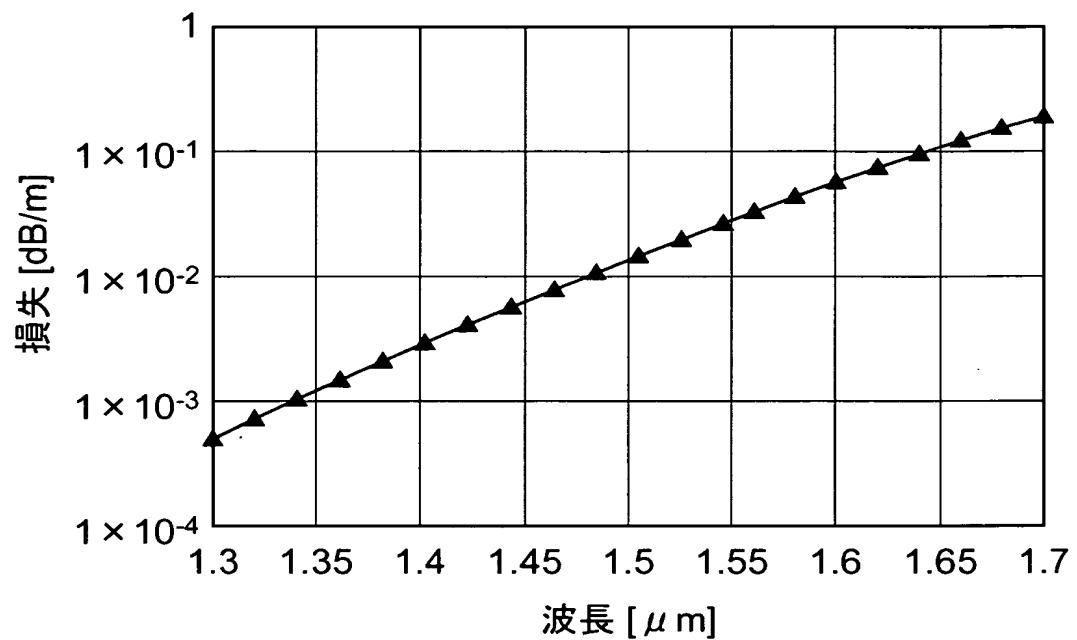
【図15】



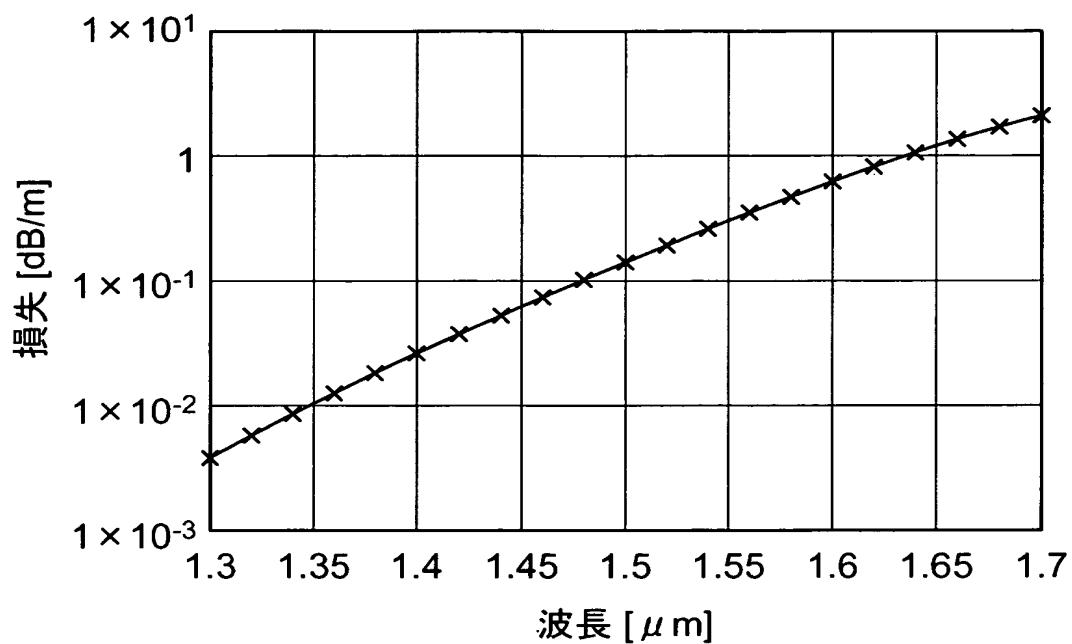
【図16】



【図17】



【図18】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 波長分散の調整の自由度及び調整可能な波長範囲の増大を図ることが可能な光ファイバを提供する。

【解決手段】 光ファイバ10は、所定軸Xに沿って延びるコア領域12と、コア領域12を囲むクラッド領域14とを備える。クラッド領域14は、コア領域12を囲む第1領域16、第1領域16を囲む第2領域18の順に、コア領域12と同軸に設けられた第1～第3領域16～20を有し、第1～第3領域16～20の少なくとも1つは、所定の屈折率を有する主媒質中に、主媒質と異なる屈折率を有する副媒質からなる領域を含み、コア領域12の平均屈折率を $n[0]$ とし、第k領域16～20の平均屈折率を $n[k]$ （ $k = 1, 2, \dots, N+1$ ）としたとき、 $n[0] > n[1]$ 、且つ $n[i] > n[i+1]$ （ $\forall i = h, h+1, \dots, h+m$ ； h, m は自然数）の関係を満たす。

【選択図】 図2

特願2003-137628

出願人履歴情報

識別番号 [000002130]

1. 変更年月日 1990年 8月29日

[変更理由] 新規登録

住所 大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
氏名 住友電気工業株式会社